保存本

０６－開－１２

データベース構築促進及び技術開発に関する報告書

レーザー研究データベースの構築

平成７年３月

財団法人　データベース振興センター

委託先　　財団法人応用光学研究所

KEIRIN この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

序

データベースは、わが国の情報化の進展上、重要な役割を果たすものと期待されている。今後、データベースの普及により、わが国において健全な高度情報化社会の形成が期待される。さらに海外に対して提供可能なデータベースの整備は、国際的な情報化への貢献および自由な情報流通の確保の観点からも必要である。しかしながら、現在わが国で流通しているデータベースの中でわが国独自のものは１／３にすぎないのが現状であり、わが国データベースサービスひいてはバランスある情報産業の健全な発展を図るためには、わが国独自のデータベースの構築およびデータベース関連技術の研究開発を強力に促進し、データベースの拡充を図る必要がある。

このような要請に応えるため、（財）データベース振興センターでは日本自転車振興会から機械工業振興資金の交付を受けて、データベースの構築および技術開発について民間企業、団体等に対して委託事業を実施している。委託事業の内容は、社会的、経済的、国際的に重要で、また地域および産業の発展の促進に寄与すると考えられているデータベースの構築とデータベース作成の効率化、流通の促進、利用の円滑化・容易化などに関係したソフトウェア技術・ハードウェア技術である。

本事業の推進に当たって、当財団に学識経験者の方々で構成されるデータベース構築・技術開発促進委員会（委員長　前山梨学院大学教授　蓼沼良一氏）を設置している。

この「レーザー研究データベースの構築」は平成６年度のデータベースの構築促進および技術開発促進事業として、当財団が財団法人応用光学研究所に対して委託実施した課題の一つである。この成果が、データベースに興味をお持ちの方々や諸分野の皆様方のお役に立てば幸いである。

なお、平成６年度データベースの構築促進および技術開発促進事業で実施した課題は次表のとおりである。

平成７年３月

財団法人　データベース振興センター

平成6年度 データベース構築・技術開発促進委託課題一覧

分野		課題名	委託先
社会	1	報道ニュースのマルチメディアデータベース構築	日本電子計算㈱名古屋支店
	2	携帯型電子新聞プロトタイプの開発	㈱日本経済新聞社／㈱日経データ
	3	SPORTS POWER INDEXのパイロット版データベースの構築	㈱ビデオ・リサーチ
	4	画像付き地図資料データベースのプロトタイプの作成	㈶地図情報センター
	5	パソコンを利用した副作用症例データベースの構築調査	協立医師協同組合
中小企業振興 地域活性化	6	関西イベント＆プロジェクトデータベース構築	㈱京都新聞社
	7	ハイビジョン大型映像ソフト流通促進用データベース構築	㈶大阪科学技術センター
	8	分散協調型データベースのための高度運用システムの開発と学習支援環境への応用	㈱エマーズ
海外	9	電子デバイス情報の電子化ドキュメントのプロトタイプ作成	電子デバイス情報サービス㈱
	10	海外ユーザ向けの国産データベース検索支援用端末ソフトウェアの開発	カテナ㈱
技術	11	連想検索写真データベースのプロトタイプ作成	シャープ㈱
	12	レーザー研究データベースの構築	㈶応用光学研究所
	13	砂漠化防止技術データベース	㈱新産業創造センター
	14	メディア変換型感性データベースの構築方法の研究	㈶イメージ情報科学研究所
	15	フォールトトレランスな多データベースサーバーシステムに関する調査研究	㈱シネジャーナルプロダクション
	16	創出キーワードの自動付与に関する調査研究	㈱エレクトロニック・ライブラリー

目　　次

Ⅰ．概　要　1

1．目的　1

2．実施体制及び実施内容　1

3．実施結果　5
3．1　作成データベース　5
3．2　データベースの利用　9

4．今後の課題　11

Ⅱ．本　編　12

1．はじめに　12

2．実施体制　12

3．データベースの種類と内容　14
3．1　レーザー研究開発データベース　14
3．2　レーザー研究者データベース　18
3．3　レーザー研究機関データベース　19

4．データソース　20
4．1　レーザー研究開発情報　20
4．2　レーザー研究者データベース　22
4．3．　レーザー研究機関情報　24

5．データベースの構造　25
5．1　データ　25
（1）　レーザー研究開発データベース　25
（2）　レーザー研究者データベース　28
（3）　レーザー研究機関データベース　31
5．2　データベースシステム　34
（1）　パソコン環境　35
（2）　想定ユーザー　36
（3）　データベース・ソフトウェア　37
（3）－1）　カード型とリレーショナル型　37
（3）－2）　市販データベース・ソフトウェア　39
（4）　今回採用したデータベース提供方式　40

（5）　開発したデータベース　41
（5）－1）　Let's アイリス　41
（5）－2）　ACCESS　42
（5）－3）　CSVテキスト・ファイル　53

III．分析編　55

1．　本データベースを利用した分析事例　55
1．1　レーザー種別の研究動向　55
1．1．1　希ガス／希ガスイオンレーザー、金属／金属イオンレーザー　55
1．1．2　CO_2／COレーザー、機械加工（原子力応用）　58
1．1．3　化学レーザー（HF、DF、ヨウ素等）　68
1．1．4　アイセーフ固体レーザー（Er、Tm、Ho等）　78
1．1．5　Nd：YAGレーザー　82
1．1．6　III－V族、II－VI族半導体レーザー　87
1．1．7　自由電子レーザー　97
1．1．8　波長可変固体レーザー（アレキサンドライト、Ti:サファイア等）　100
1．1．9　真空紫外、X線レーザー　110

1．2　用途別分野　120
1．2．1　溶接　120
1．2．2　半導体応用　134
1．2．3　化学応用　138
1．2．4　計測　147
1．2．5　医用・バイオ分野　156
1．2．6　機械加工（表面処理）　160

1．3　執筆者一覧　168

2．　レーザー研究者の動向　169

3．　レーザー研究機関の動向　176

（添付資料）

1．　わが国におけるレーザー研究者に関するアンケート調査調査票

2．　わが国におけるレーザー研究機関に関するアンケート調査調査票

3．　データベースデータリスト一式

4．　データ・フロッピー・ディスク一式

Ⅰ．概　要

１．目的

レーザー技術は既存のあらゆる科学技術分野で使われており、産業全体を支える基盤的技術として位置付けられている。更にこのレーザーは「光の世紀」とも言われる２１世紀における最重要技術の一つとして、わが国内外で積極的な研究開発が進められている。レーザー技術は、「秒進分歩」と呼ばれるほど進歩が速く、また基盤的、横断的技術であるため、その研究開発に当たっては部門間の相互交流や総合化が重要な課題となっている。

このような来世紀の中心となるレーザー及びその応用技術の開発を促進し、日本ひいては世界におけるレーザー産業を育成するためには、レーザーに関する研究情報を的確に集積し、関係者に広く利用され得るデータベースの整備が強く望まれる。しかし、レーザーに関する技術の進歩の速さ、また、情報の収集や評価に専門的知識を必要とすること等から、わが国においてはまだレーザー技術に関するデータベースの整備は極めて不十分な状況にあると言わざるを得ない。

本データベース構築は、わが国において実施されているレーザー研究開発、研究者、研究機関等、わが国におけるレーザー研究の状況を的確に把握できるようなデータベースの構築を行い、国内外の利用者に提供することを目指したものである。

２．実施体制及び実施内容

本事業は財団法人応用光学研究所レーザー技術研究会のプロジェクトチームによって行われたが、その実施に当たっては難波進大阪大学名誉教授を委員長とし、大学、研究機関及び民間企業のレーザー関連の専門家20名の委員からなる「レーザー研究データベース構築委員会」を設置し、5回の委員会を開催し事業内容のチェック、各種データソースの提供、レーザー研究者及び研究機関アンケート票の検討、作成したデータベースの評価とデータベース情報をもとにした分析例の提供を受けた。

本データベースの作成において実施した主要な作業は次の5点である。

①研究開発データの情報収集

わが国におけるレーザー及びレーザー応用技術の研究開発に関する情報を学会誌、学会予稿集、講演集、研究課題集、技術雑誌等の公表メディアから抽出した。対象とした公表メディアは35種で、抽出データ数は約3,000件である（表１）。

②アンケートによる研究者及び研究機関データの収集

公表メディアからだけでは、研究者や研究機関のバックグラウンドや現在の従事業務内容、関心分野等についての具体的な情報を得ることは難しい。また、仮に種々のデータソースからの情報の組み合わせでそれが得られたとしても、研究者や研究機関にとっては本意でないデータとなる可能性もあり、プライバシーの問題が生ずる。このため本事業では、研究者と研究機関に対しては公表を前提としたアンケート調査を行い、それぞれの属性からレーザー研究開発の対象分野（レーザー種別、応用分野）、経歴、主要実績等の情報の提供を受けた。アンケートの実施は今回は初めてのケースであったが、研究者で約400、研究機関で約260の回答を得た。

③データベース・システムの検討

本データベース・システムはレーザー研究開発という特定分野に焦点を置きながら、研究開発情報、研究者、研究機関という、総合的なデータベースを作ろうとしたものである。この作成に当たっての基本的な考え方は、研究者をはじめとするレーザー技術開発に携わる人々（ユーザー）が簡便に目的に応じたきめ細かな検索等が可能となるデータベースを提供することにある。この簡便さと目的に応じたきめ細かな検索という機能的要求は、急速な発展と普及を見せた現在のパソコンで十分に満たせるものである。

本データベースでの使用ソフトウエアとしては市販のデータベースソフトウエアをそのまま使うということで Let's アイリスを、完全なメニュー化により操作を簡易化するものとしてＡＣＣＥＳＳを、また、ユーザーが既に保有している種々のデータベースソフトウエアに読み込める形のものとしてＣＳＶ型ファイルを用いることとした。

表1　データ・ソースとした公表メディアと抽出データ数

公表メディア	期　間	抽出件数
1. 応用物理	94年1月～12月	35
2. 応用物理学関係連合講演会	94年3月、9月	1230
3. 原子力学会年会	94年3月	19
4. 高温学会誌	94年1号～6号	5
5. 光学	94年1月～12月	47
6. 工業技術院試験研究所研究計画	93年10月	13
7. 高分子	94年3月～10月	14
8. 高分子論文集	94年2月～12月	7
9. 精密工学会誌	94年2号～12号	28
10. 精密工学会大会	94年3月、10月	52
11. 鉄鋼協会講演論文集	94年秋	2
12. 鉄と鋼	94年1号～7号	3
13. 電気学会全国大会	94年3月	73
14. 電子情報通信学会	94年春・秋	645
15. 電子情報通信学会誌	94年1月～12月	2
16. 電子情報通信学会論文誌	94年1月～12月	42
17. 日本ME学会雑誌ﾊﾞｲｵﾒﾃﾞｨｶﾙｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ	94年2号～10号	9
18. 日本化学会合同大会	94年春・秋	135
19. 日本化学会誌	94年1月～12月	9
20. 日本機械学会誌	94年1月～12月	3
21. 日本機械学会全国大会	94年8月	26
22. 日本機械学会論文集	94年1月～11月	7
23. 日本金属学会講演概要	94年春・秋	6
24. 日本金属学会誌	94年7号～8号	2
25. 日本建築学会大会学術講演梗概集	94年9月	2
26. 日本原子力学会誌	94年1月～12月	2
27. 日本分光学会	94年春・秋	49
28. 日本レーザー医学会誌	94年3月～12月	28
29. 分光研究	94年1号～6号	2
30. 文部省科学研究費補助金採択課題	94年10月	120
31. レーザー学会	94年1月	218
32. レーザー研究	94年1月～12月	80
33. 溶接学会誌	94年2号～6号	8
34. 溶接学会全国大会講演概要	94年4月、10月	72
35. 溶接学会論文集	94年2号～4号	5
合　　計		3,000

（但し、トピックス等を含む）

④データ入力作業

データの入力はデータベースシステムとして最も入力作業やデータチェックに馴染んだLet's アイリスで行い、そのデータを一括してＣＳＶ型ファイル及びＡＣＣＥＳＳへ変換する形を採った。

⑤テストラン及びテスト分析

入力したデータをもとに、レーザー種別及び応用分野別のレーザー研究の動向、レーザー研究者、研究機関についての試験的分析作業を行った。

3．実施結果

3．1　作成データベース

本データベース構築事業において最終的に作成したデータベースは次の3種類である。

①レーザー研究開発データベース

データソース：１９９４年発表35種のメディア

データ数　　：3,000

データ項目　：1.整理番号、2.タイトル、3.要旨、4.対象レーザー、5.応用分野、6.報告種別、7.研究者、8.研究機関、9.機関の所在地、10.出典

②レーザー研究者データ

データソース：アンケート調査

データ数　　：380

データ項目　：1.整理番号、2.研究者名、3.ふりがな、4.住所、5.所属機関名、6.所属部署、7.職名、8.機関連絡先、9.ＴＥＬ、10.ＦＡＸ、11.学歴、12.卒業年、13.職歴、14.学会、15.従事業務（技術）16.従事業務（管理）、17.従事期間、18.対象レーザー種別（従来）19.対象レーザー種別（今後）、20.対象分野（従来）、21.対象分野（今後）、22.主要研究

③レーザー研究機関データ

データソース：アンケート調査

データ数　　：254

データ項目　：1.整理番号、2.機関名、3.ふりがな、4.部署名、5.所在地、6.部署責任者、7.ＴＥＬ、8.ＦＡＸ、9.連絡先、10.ＴＥＬ、11.ＦＡＸ、12.従事業務（技術）、13.従事業務（管理）、14.レーザー関連スタッフ、15.内訳、16.対象レーザー種別（従来）、17.対象レーザー種別（今後）、18.対象分野（従来）、19.対象分野（今後）、20.主要研究

表２　対象レーザー種別分類表

０００　レーザー一般
１００　気体レーザー（一般）
１１０　希ガス／希ガスイオンレーザー
１２０　金属／金属イオンレーザー
１３０　CO_2／ＣＯレーザー
１４０　化学レーザー（ＨＦ、ＤＦ、ﾖｳ素等）
１５０　エキシマレーザー
１９０　その他の気体レーザー
２００　液体レーザー（一般）
２１０　色素レーザー
２９０　その他の液体レーザー
３００　固体レーザー（一般）
３１０　ガラスレーザー
３２０　Ｎｄ：ＹＡＧレーザー
３３０　ＹＡＧ以外のＮｄレーザー
３４０　Ｎｄを除く希土類レーザー
３５０　波長可変固体レーザー
（ｱﾚｷｻﾝﾄﾞﾗｲﾄ、Ｔｉ：ｻﾌｧｲｱ等）
３９０　その他の固体レーザー
４００　半導体レーザー（一般）
４１０　Ⅲ－Ⅴ族半導体レーザー
４２０　Ⅱ－Ⅵ族半導体レーザー
４９０　その他の半導体レーザー
５００　自由電子レーザー
６００　真空紫外、Ｘ線レーザー
７００　不明

表３　対象応用分野分類表

０００　基礎科学研究（一般）	４２０　センサー
０１０　レーザー基礎過程	４３０　ディスプレイ
０２０　共振器、モード特性	４４０　メモリ、記録
０３０　材料・光物性	４５０　通信
０４０　分光	４９０　その他の計測、情報
０５０　光伝播、伝送	５００　医用・バイオ利用（一般）
０６０　原子核、核融合	５１０　外科
０９０　その他の基礎科学研究	５１１　レーザーメス
１００　機械工作加工（一般）	５１２　ファイバー利用
１１０　切断、穴あけ	５１３　血管手術
１２０　溶接	５２０　はり及び低出力レーザー治療
１３０　表面処理	５３０　眼科
１３１　熱処理	５３１　コアギュレーション
１３２　組成変更	５３２　角膜治療
１３３　ｱﾌﾞﾚｰｼｮﾝ（PVDを含む）	５４０　皮膚科
１４０　マーキング（手法は問わない）	５５０　医用計測・診断
１９０　その他の機械工作	５６０　細胞処理
２００　電子工業応用（一般）	５７０　ＤＮＡ処理
２１０　ＣＶＤ	５９０　その他の医用、バイオ利用
２２０　ＰＶＤ	６００　特殊用途分野（一般）
２３０　エッチング	６１０　宇宙利用（一般）
２４０　ドーピング	６１１　ロケット推進
２５０　アニーリング	６１２　エネルギー伝送
２６０　リソグラフィー	６１３　通信
２７０　材料創生	６１９　その他の宇宙利用
２９０　その他の電子工業応用	６２０　軍事利用（一般）
３００　化学応用（一般）	６２１　兵器
３１０　元素分離	６２２　レーザー・レーダー
３２０　同位体分離（除Ｕ、Ｐｕ濃縮）	６２３　ジャイロ
３３０　Ｕ、Ｐｕ濃縮	６２９　その他の軍事利用
３４０　化学反応制御	６３０　環境利用（一般）
（化学反応型表面処理を含む）	６３１　センサー
３５０　化学分析利用	６３２　レーザー・レーダー
３９０　その他の化学応用	６３３　リモートセンシング
４００　計測、情報（一般）	６３９　その他の環境利用
４１０　計測機器	９００　その他

各種データベースに共通するレーザー種別を表２に、また、レーザー応用分野を表３に示す。（ただし、研究者及び研究機関のアンケート回答によるものは、レーザー応用分野に関しては簡易版を使用している。

これらのデータベースを使用するためのソフトウエアシステムとしては、現在のパソコン環境、利用者の便宜を考え以下の3タイプからの選択方式とした。

①Let's アイリス

比較的初期の段階から供給されているソフトであること、ＭＳ－ＤＯＳベースの古いマシンでも動くこと、日本において保有シェアが圧倒的な、ＮＥＣ9800シリーズに対応していることから、初期の段階からパソコンを利用してきたユーザー、古いマシンを保有するユーザーなどに妥当なものとして選定した。

②ＡＣＣＥＳＳ

最近のウインドウズ環境の普及を考慮した場合ウインドウズ対応ソフトが望まれること、完全にメニュー化することが可能でありＡＣＣＥＳＳそのものの操作手順を覚える必要がないことなどから、ウインドウズ・マシン・ユーザーや、操作の容易性を望むユーザーに妥当なものとして選定した。

③ＣＳＶファイル

①、②の方式ですべての潜在ユーザーのパソコン環境に適応することは困難である。一方、表計算ソフトやデータベースソフトの多くは、ＣＳＶテキストファイルを通じて異なるソフトウェアで作成されたデータを読むことができるようになっている。既に他のデータベース・ソフトウェアを利用しているなどで、上記①②以外の方式での供給を望むユーザーに対してはこのＣＳＶテキストファイルが妥当と考える。上記①、②は、ソフトウエアを含めて供給することを想定しているが（もちろん Let's アイリス、ＡＣＣＥＳＳを保有するユーザーにはデータのみを供給）、他のデータベースソフトを保有していたり、慣れ親しんだユーザーは、ＣＳＶファイルから自らのデータベースソフトで読み利用することが可能である。

3．2　データベースの利用

本データベースは多くのデータの中からレーザー研究を実施する場合に参考とする情報を検索利用することが主たる目的であり、その想定利用者と用途としては次のものが考えられる。

①利用想定者

・レーザー研究機関

（国公立研究機関、産業界、電機、電子、重工業、機械、精密、その他）

・レーザー及びレーザー機器製造産業

（電機、電子、機械、精密、重工業、その他）

・レーザー機器利用産業

（電力、ガス、重工業、鉄鋼、化学、石油、その他）

・行政機関

（産業政策、研究開発関連）

②用途

・研究情報の検索　研究情報の入手、研究動向の分析

・研究者研究機関情報の利用　研究の共同化、研究委託

・研究開発政策、技術政策、産業政策の立案等

・更に研究者や研究機関等の自己ＰＲ

本データベースのように特定分野に関して、ある程度のまとまった情報が整備されている場合には、単なる情報検索以上の多様な利用が可能となる。その最も重要なものは現在のレーザーの研究開発の中心はどこにあるのか、今後どのような研究が重要となるのか、といったようなレーザー研究開発に係わる動向の分析である。このため、本データベース構築ではこれらの分析事例として、以下のものを行った。

レーザー種別の研究動向

希ガス／希ガスイオンレーザー、金属／金属イオンレーザー

CO_2／COレーザー

化学レーザー（HF、DF、ヨウ素等）

エキシマレーザー

色素レーザー

Nd：YAGレーザー

アイセーフ固体レーザー（Er、Tu、Ho等）

波長可変固体レーザー（アレキサンドライト、Ti：サファイア等）

Ⅲ－Ⅴ族、Ⅱ－Ⅵ族半導体レーザー

自由電子レーザー

真空紫外、X線レーザー

用途別分野

機械工作加工

電子工業応用

化学応用

計測

医用・バイオ分野

また、アンケート調査で得た情報をもとにレーザー研究者及びレーザー研究機関の動向の整理分析を行った。

4．今後の課題

本レーザーデータベースの構築は概ね所期の目的を達成したが、今後の課題として次のものが挙げられる。

①継続的なデータ収集体制の充実

公表メディアからの研究情報のチェック体制を充実させるとともに、研究者、研究機関情報についての定期的なアンケート等によるサーベイ調査を行うことによって、本データベースはより発展するものと考えられる。

②本データベースの発展方向の検討

・海外向けデータベース（現在のデータベースを英文化し、海外に向けて日本のレーザー技術の研究データを発信する）

・レーザー機器技術データベース

各レーザー及びレーザー利用機器メーカーの生産、販売している機器、技術をデータベース化し、ユーザーの機器の選択や、研究の方向性などの基礎資料を提供する。

・レーザー企業データベース

研究機関データベースと同様の形で作成が可能で、レーザー関連のユーザーとサプライヤーの連係にとって有効なものと考えられる。

II．本　編

1．はじめに

レーザー技術は既存のあらゆる科学技術分野で使われており、産業全体を支える基盤的技術として位置付けられている。更にこのレーザー技術は「光の世紀」になると考えられている２１世紀における最重要技術のひとつとして、わが国内外で積極的な研究開発が進められている。

レーザー技術は、「秒進分歩」と呼ばれるほど進歩が速い。また基盤的、横断的技術であるため、その研究開発に当たっては部門間の相互交流や総合化が重要な課題であるが、あまりに進歩が速く、あまりに広い分野で研究開発が進んでいるため、どの科学技術分野の研究者・技術者も、他の分野でどのような研究開発が進んでいるのか、情報がつかみにくい状況となっている。

このような状況の下で、来世紀の中心となるレーザー及びその応用技術の開発を促進し、日本ひいては世界におけるレーザー産業を育成するためには、レーザーに関する研究情報を的確に集積し、関係者に広く利用され得るデータベースの整備が強く望まれる。しかし、レーザーに関する技術の進歩の速さ、また、情報の収集や評価に専門的知識を必要とすることなどから、わが国においてはまだレーザー技術に関するデータベースの整備は極めて不十分な状況にあると言わざるを得ない。

本データベース構築では、わが国において実施されているレーザー研究、研究者、研究機関など、わが国におけるレーザー研究の状況を的確に把握できるようなデータベースの構築を行い、国内外の利用者に提供することを目指している。

2．実施体制

当（財）応用光学研究所に於て藤岡知夫をリーダーとしてプロジェクトチームを設立し、更に以下のレーザー研究データベース構築委員会を設立し、実施に当たった。

平成６年度レーザー研究データベースの構築委員会

委員長	難波　進	大阪大学名誉教授
委　員	熱田　稔雄	川崎重工業（株）関東技術研究所
	有澤　孝	日本原子力研究所東海研究所燃料研究部
	石坂　進一	ラムダフィジックジャパン（株）応用技術部
	小原　實	慶應義塾大学理工学部電気工学科
	片山　聖二	大阪大学溶接工学研究所
	柊元　宏	東京工業大学付属像情報工学研究施設
	古賀　隆治	岡山大学工学部電気工学科
	酒井　文雄	住友重機械工業（株）総合技術研究所
	田井　秀男	東京ガス（株）ｲﾝﾌｫﾒｰｼｮﾝﾃｸﾉﾛｼﾞｰ 研究所
	竹森　聖	（株）日立製作所日立研究所
	廣瀬　全孝	広島大学集積化システム研究センター
	藤岡　知夫	東海大学理学部物理学科
	松為　宏幸	東京大学工学部反応化学科
	松田　桂一	三菱重工業（株）原子力事業本部
	緑川　克美	理化学研究所レーザーグループ
	矢嶋　弘義	電子技術総合研究所光技術部
	矢部　明	物質工学工業技術研究所極限反応部
	矢部　栄二	東海大学開発技術研究所
	芳野　文人	（株）神戸製鋼所溶接事業部
	渡辺　一弘	創価大学工学部情報システム科

以上２１名

実施状況は以下の通りである。

平成６年９月２７日	第１回レーザー研究データベース委員会開催
１２月　６日	第２回レーザー研究データベース委員会開催
７年１月２４日	第３回レーザー研究データベース委員会開催
２月　８日	第４回レーザー研究データベース委員会開催
３月１３日	第５回レーザー研究データベース委員会開催

3．データベースの種類と内容

本事業、レーザー研究データベースの構築においてはわが国におけるレーザー及びレーザー応用技術の研究開発に関するデータベースとして次の三つのデータベースを作成し、国内外の利用者に広くサービスすることを目的としたものである。

① レーザー研究開発データベース
② レーザー研究者データベース
③ レーザー研究機関データベース

研究開発に関する情報・データを利用する場合には単に研究開発の内容だけではなく、研究者や研究機関の情報と組み合わせることによって、より利用価値の高い情報を入手することができる。この三つのデータベースは互いに独立ではあるが部分的に互いにデータを共有することも多いため、それぞれが単独で利用できるとともに、これら三つがあたかも一つのシステムで取り扱われているようなメニュー方式で操作性の高いデータベースシステムを開発した。

3．1　レーザー研究開発データベース

本データベースはわが国で実施されているレーザー及びレーザー応用技術の研究開発情報を年間ベースで取りまとめるものである。わが国では現在年間数千件のレーザーに関する研究発表等が行われている。これを適切にデータベースとして整備することによってわが国におけるレーザー研究の現在の重点（レーザー種別、用途）を容易に把握したり、また、具体的な研究内容を知ることができるため、レーザー研究開発に携わる研究者や機関での研究開発の推進や研究の遂行における極めて重要な情報源となり、さらに、レーザー研究を推進する立場にある行政諸機関（例えば通商産業省、科学技術庁等）の担当部局での技術開発政策立案のための基礎的な情報源となる。

このデータベースのデータはわが国において１９９４年１年間に発表された研究報告、研究計画、技術報告であり、データを分類、整理、検索するためのデータ項目は各研究発

表、技術報告毎のタイトル（研究テーマ）、要旨（研究内容）、報告種別、発表者（研究者）、所属機関（研究機関）、機関の所在地（連絡先）、出典である。研究内容に関しては対象レーザー種別（表３－１）と対象応用分野別（表３－２）についてそれぞれ大分類と小分類を行っており、コード化が可能なように分類番号が付されている。報告種別については表３－３に示すような分類をしている。この報告種別はオリジナルの研究論文や技術開発の報告に加え、より幅広くわが国における研究の状況や、技術動向を把握するのに有効な情報をデータベース化できるようにするためのものである。

表３－１　対象レーザー種別分類表

０００　レーザー一般
１００　気体レーザー（一般）
　１１０　希ガス／希ガスイオンレーザー
　１２０　金属／金属イオンレーザー
　１３０　CO_2／ＣＯレーザー
　１４０　化学レーザー（ＨＦ、ＤＦ、ヨウ素等）
　１５０　エキシマレーザー
　１９０　その他の気体レーザー
２００　液体レーザー（一般）
　２１０　色素レーザー
　２９０　その他の液体レーザー
３００　固体レーザー（一般）
　３１０　ガラスレーザー
　３２０　Ｎｄ：ＹＡＧレーザー
　３３０　ＹＡＧ以外のＮｄレーザー
　３４０　Ｎｄを除く希土類レーザー
　３５０　波長可変固体レーザー
　　（ｱﾚｷｻﾝﾄﾞﾗｲﾄ、Ｔｉ：ｻﾌｧｲｱ等）
　３９０　その他の固体レーザー
４００　半導体レーザー（一般）
　４１０　Ⅲ－Ⅴ族半導体レーザー
　４２０　Ⅱ－Ⅵ族半導体レーザー
　４９０　その他の半導体レーザー
５００　自由電子レーザー
６００　真空紫外、Ｘ線レーザー
７００　不明

表３－２　対象応用分野分類表

０００　基礎科学研究（一般）
　０１０　レーザー基礎過程
　０２０　共振器、モード特性
　０３０　材料・光物性
　０４０　分光
　０５０　光伝播、伝送
　０６０　原子核、核融合
　０９０　その他の基礎科学研究
１００　機械工作加工（一般）
　１１０　切断、穴あけ
　１２０　溶接
　１３０　表面処理
　　１３１　熱処理
　　１３２　組成変更
　　１３３　ｱﾌﾞﾚｰｼｮﾝ（PVDを含む）
　１４０　マーキング（手法は問わない）
　１９０　その他の機械工作
２００　電子工業応用（一般）
　２１０　ＣＶＤ
　２２０　ＰＶＤ
　２３０　エッチング
　２４０　ドーピング
　２５０　アニーリング
　２６０　リソグラフィー
　２７０　材料創生
　２９０　その他の電子工業応用
３００　化学応用（一般）
　３１０　元素分離
　３２０　同位体分離（除Ｕ、Ｐｕ濃縮）
　３３０　Ｕ、Ｐｕ濃縮
　３４０　化学反応制御
　　（化学反応型表面処理を含む）
　３５０　化学分析利用
　３９０　その他の化学応用
４００　計測、情報（一般）
　４１０　計測機器
　４２０　センサー
　４３０　ディスプレイ
　４４０　メモリ、記録
　４５０　通信
　４９０　その他の計測、情報
５００　医用・バイオ利用（一般）
　５１０　外科
　　５１１　レーザーメス
　　５１２　ファイバー利用
　　５１３　血管手術
　５２０　はり及び低出力レーザー治療
　５３０　眼科
　　５３１　コアギュレーション
　　５３２　角膜治療
　５４０　皮膚科
　５５０　医用計測・診断
　５６０　細胞処理
　５７０　ＤＮＡ処理
　５９０　その他の医用、バイオ利用
６００　特殊用途分野（一般）
　６１０　宇宙利用（一般）
　　６１１　ロケット推進
　　６１２　エネルギー伝送
　　６１３　通信
　　６１９　その他の宇宙利用
　６２０　軍事利用（一般）
　　６２１　兵器
　　６２２　レーザー・レーダー
　　６２３　ジャイロ
　　６２９　その他の軍事利用
　６３０　環境利用（一般）
　　６３１　センサー
　　６３２　レーザー・レーダー
　　６３３　リモートセンシング
　　６３９　その他の環境利用
９００　その他

表３－３　報告種別分類表

大　分　類	分　類　内　容
研究論文 （オリジナルな論文 研究報告）	論文 研究発表 講演概要、講演梗概 技術ノート、ノート 技術報告 原著 オリジナル
研究紹介 （特定の研究）	研究計画 研究紹介
技術研究解説 （技術研究一般の 紹介、解説）	解説 最近の技術から 展望、最近の展望 特集、連載 講義、講座 総合報告

３．２　レーザー研究者データベース

わが国におけるレーザー研究者についてはレーザー研究開発データベースから発表者（研究者）を検索抽出することはできるが、これだけからでは各研究者のバックグラウンドや業績、現在の従事業務内容、関心分野等を十分に知ることはできない。このため、本データベースでは研究者を対象としたアンケート調査を行い、公表されているデータソースからは得られない、より詳細な情報を盛り込んだデータベースを作成している。

データ項目は研究者名、住所、所属機関、部署、職名、学歴、職歴、所属学会、現在の従事業務内容（表３－４）、レーザー研究開発従事期間（経験）、対象レーザー種別（表３－１参照）、対象応用分野（表３－２参照）、主要研究であり、このデータベースからレーザー研究に関する各個別研究者についての具体的な情報が提供される。

表３－４　従事業務内容表

A	技術的業務	B	管理及び事務的業務
1	研究・開発	1	研究・開発管理
2	設計	2	技術管理
3	技術企画	3	生産製造管理
4	生産、製造	4	営業
5	品質管理、試験安全等	5	企画
6	営業技術	6	購買・資材
7	工事(エンジニアリング)	7	コンサルテーション、教育
8	教育	8	経営
9	その他の技術的業務	9	その他の管理及び事務的業務

このレーザー研究者データベースのデータは公開されることを条件に収集したものであり、わが国においてレーザー研究を行う場合に必要な人材の確保や、研究の共同化において広く利用できる重要な情報源となる。また、研究者にとっては、自己ＰＲの役割を果たし、また、他の研究者の研究の方向性を参考にして研究の幅を広げることにもつながる。

３．３　レーザー研究機関データベース

レーザー関連の研究開発を実施しているわが国の研究機関についてはこれまではほとんどまとまったものがなかった。したがって本データベースはわが国で作成するレーザー研究機関のデータベースとして最初のものとなる。この研究機関についても、研究者と同様、レーザー研究開発データベースから検索抽出することができるが、各研究機関の能力や、これまでの実績、今後の方向性を知るために、公表データ・ソースからは得られないより具体的な情報をアンケート調査によって収集し、本データベースに収録した。

本データベースのデータ項目は、機関、部署名、所在地、担当責任者という一般的項目とレーザー研究の業務内容（表３－４参照）、対象レーザー種別（表３－１参照）、対象分野（表３－２参照）、最近のレーザー関連の主要研究等のレーザー関連の項目とからなっており、レーザー研究の共同化や、研究委託等のための基礎的情報が入手し得る。また、データを収録した多くの機関について、全体的な分析をすることによって、わが国のレーザー関連の研究開発の機関的ポテンシャルを把握することができる。また、現在のレーザーの研究開発の方向付けを検討するための有力な情報源ともなるため、技術開発の行政政策立案にとっても有用なものとなる。

４．データ・ソース

本データベースのデータ・ソースとしては基本的に公開された情報を使うこととしたが、研究者及び研究機関に関しては統一のとれた最新情報が公表された形では得られないこと、各研究者や研究機関の具体的な実績や、研究の方向性、あるいは連絡先等についての情報がないこと、また、個人や民間機関についてのプライバシーの問題等から、アンケートによって情報を収集し公開情報を補強するものとした。

４．１　レーザー研究開発情報

レーザー研究開発データベースのデータは年間ベースで収集することとし、データ・ソースとしては１９９４年１月から１２月までの１年間のレーザー及びレーザー応用技術分野の研究開発が発表されている、各種学会誌、学会予稿集、講演集、研究課題集、技術雑誌等を用いた。データ・ソースとして使用したこれらの公表メディアの種類は、35種である。これらの公表メディアの中から表３－３に示すレーザー研究開発に関連する報告を抽出し、表３－１、表３－２に示す、レーザー種別、対象応用分野別の分類を行っている。これまでに抽出したデータは約3,000件となっている。表４－１に公表メディア別のデータ抽出数を示す。これらの公表メディアでのレーザー研究開発関連情報は上位11種で全体の91％を占めている。したがって、レーザーに関する研究情報を探索する場合には、これらの上位10種を常時チェックすることが重要である。しかし、レーザーというものの応用分野の広がりを考えると、今後は更に多くの分野の学会誌等についても調査をすることが必要となるだろう。データベースを作成する場合には、これらのデータ・ソース自体についてのデータの賦存状況の十分なチェックが望まれる。データベースを継続的に作成することによってこれらのデータ・ソースの特性がより明確になり、データベースとしての質が向上するものと言える。

表４－１　データ・ソースとした公表メディアと抽出データ数

公表メディア	期　間	抽出件数
1. 応用物理	94年１月～12月	35
2. 応用物理学関係連合講演会	94年３月、９月	1230
3. 原子力学会年会	94年３月	19
4. 高温学会誌	94年１号～６号	5
5. 光学	94年１月～12月	47
6. 工業技術院試験研究所研究計画	93年10月	13
7. 高分子	94年３月～10月	14
8. 高分子論文集	94年２月～12月	7
9. 精密工学会誌	94年２号～12号	28
10. 精密工学会大会	94年３月、10月	52
11. 鉄鋼協会講演論文集	94年秋	2
12. 鉄と鋼	94年１号～７号	3
13. 電気学会全国大会	94年３月	73
14. 電子情報通信学会	94年春・秋	645
15. 電子情報通信学会誌	94年１月～12月	2
16. 電子情報通信学会論文誌	94年１月～12月	42
17. 日本ME学会雑誌ﾊﾞｲｵﾒﾃﾞｨｶﾙｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ	94年２号～10号	9
18. 日本化学会合同大会	94年春・秋	135
19. 日本化学会誌	94年１月～12月	9
20. 日本機械学会誌	94年１月～12月	3
21. 日本機械学会全国大会	94年８月	26
22. 日本機械学会論文集	94年１月～11月	7
23. 日本金属学会講演概要	94年春・秋	6
24. 日本金属学会誌	94年７号～８号	2
25. 日本建築学会大会学術講演梗概集	94年９月	2
26. 日本原子力学会誌	94年１月～12月	2
27. 日本分光学会	94年春・秋	49
28. 日本レーザー医学会誌	94年３月～12月	28
29. 分光研究	94年１号～６号	2
30. 文部省科学研究費補助金採択課題	94年10月	120
31. レーザー学会	94年１月	218
32. レーザー研究	94年１月～12月	80
33. 溶接学会誌	94年２号～６号	8
34. 溶接学会全国大会講演概要	94年４月、10月	72
35. 溶接学会論文集	94年２号～４号	5
合　　計		3,000

（但し、トピックス等を含む）

４．２　レーザー研究者データベース

当初レーザー研究者のデータベースのデータ・ソースとしてはレーザー研究開発データベースと同じ公表メディアを使うことを考えていた。しかし、公表メディアからだけでは各研究者のバックグラウンド等に関する情報を十分に得ることはできない。また、一般に、研究開発を発表する研究者は個人情報がデータベース化されることを意識している訳ではないため、データベース化され、多くの情報が集約されることによって、副次的影響の生ずる可能性がある。一方においては研究者側において積極的に自分の業績を公表したいというニーズもある。このため、本データベースでは、これまでに応用光学研究所レーザー技術研究会が保有しているレーザー関連の各種名簿及び１９９２年にテスト的に行ったレーザー研究データベース等での研究者を対象に、公表されることを前提にしたアンケート調査を行った。

アンケートでは、回答者の属性（住所、所属等）、主たる従事業務内容（表３－４参照）、経験（学歴、職歴、従事期間）、対象レーザー種別（表３－１参照）、対象応用分野（表３－２参照）、主要研究実績等についての情報の提供を依頼した。アンケートは研究機関に対するもの（次項参照）と同時に実施したが、回収実数は約380票となっている。アンケートの実施状況を表４－２に示す。また、添付資料１にレーザー研究者に対するアンケート票を添付する。アンケートの回収率は約20%であり当初予想していたもの（30%）よりは低いが、今後回数を重ねることによって向上することが期待される。

表４－２　レーザー研究者及びレーザー研究機関に関するアンケートの実施状況

１．アンケートの実施時期

１９９４年１２月～１９９５年２月

２．アンケートの発送及び回収（１９９５年３月９日現在）

	発送数	回収数	回収率
研究者	1,903	380	20.0%
研究機関	1,091	244	23.3%
大学	246	83	33.3%
研究機関	85	38	44.7%
企業	760	133	17.5%

４．３　レーザー研究機関情報

レーザーに関する研究開発がどのような研究機関で、どのような内容のものをどのような態勢で行われているかということはレーザー関連の研究者や研究機関自身にとって非常に関心の強いものであるが、これは研究者よりも更に情報として整備されていない。レーザー研究開発データベースのデータ・ソースからの情報では十分でないことは研究者の場合と同様である。研究機関においてもプライバシーに関する問題はあるが、同時に研究機関、特に民間企業の場合には研究者よりもデータ情報の公表については積極的な場合が多い。

したがって、本データベースの作成に当たっても、研究者の場合と同様に公表を前提としたアンケートを行い、各研究機関についてのより充実したデータの収集を図った。アンケートの設問項目は機関の属性、レーザー関連の主たる業務内容、スタッフ数、対象とするレーザー、応用分野及び最近の主要実績である。アンケートは研究者と同時に実施したが回収数は約260票（回収率約24％）となっている（表４－２参照）。研究機関についても、研究者と同様、今後アンケートを重ねることによって、データは充実されるものと考えられる。レーザー研究機関に関するアンケート票を添付資料２に示す。

5．データベースの構造

5．1　データ

本データベースは（1）レーザー研究開発データベース、（2）レーザー研究者データベース及び（3）レーザー研究機関データベースの三つのデータベースからなっているが、それぞれの個別データのデータ項目は次のとおりである。

（1）レーザー研究開発データベース

レーザー研究開発データベースのデータ項目は以下の10項目である。

[1] 整理番号　毎年の更改を考慮に入れ、年次とデータの通し番号の組み合わせとなっている。（940001～）

[2] タイトル　研究テーマまたは研究発表のタイトルを使用、一つの研究プロジェクトで複数の研究テーマ名、あるいは複数の研究発表がある場合が多いが、これらはすべて独立の1件としている。

[3] 要旨　研究テーマ、発表等で記載されている要旨、アブストラクト等を500字以内にまとめたもの。ただし、データ・ソースによっては要旨のとれないものもある。

[4] 対象　研究テーマ、発表等の対象としている分野を、レーザー一般、気体レーザー、液体レーザー、固体レーザー、半導体レーザー、自由電子レーザー、真空紫外・X線レーザーなどに分類している。また、例えば気体レーザーの中でも希ガス／希ガスイオンレーザー、金属レーザーなどの小分類を作成している（表3－1参照）。

[5] 応用分野　研究テーマ、発表等の対象としている応用分野を、基礎科学研究、機械工作加工、電子応用工業などの応用分野別に分類している。また、基礎科学研究の中でも、レーザー基礎過程、共振器・モード特性、材料・光物性等の小分類を作成している（表3－2参照）。

[6] 報告種別　研究テーマ、発表等の種別を講演概要、解説、展望等に分類している（表

3－3参照）。

[7] 研究者　研究者または著者を表す。

[8] 研究機関　研究者または著者の所属する機関名及び部署名を表す。

[9] 機関の所在地　研究者または著者の所属する機関の所在地を表す。

[10]出典　研究テーマ、発表等の掲載された学会誌、学会予稿集、講演集等の出典を表す。

表５－１　レーザー研究開発データベース　データ（例）

研究開発データ

1	整理番号	941192
2	タイトル	新型超高周波励起ＣＯ2／ＣＯ平板型レーザーの開発研究
3	要旨	
4	対象ﾚｰｻﾞｰ	ＣＯ2／ＣＯ
5	応用分野	レーザー基礎過程
6	報告種別	研究計画
7	研究者（著者）	藤岡　知夫
8	研究機関	東海大学教授
9	機関の所在地	259-12　平塚市北金目１１１７
10	出典	文部省科研費採択課題94年

（２）レーザー研究者データベース

レーザー研究者データベースのデータ項目は以下の22項目である。

[1] 整理番号　毎年の更改を考慮に入れ、年次とデータの通し番号の組み合わせとなっている。（940001～）

[2] 研究者名　回答した研究者の氏名を表す。

[3] ふりがな　研究者の氏名のふりがなを表す。

[4] 住所　研究者の住所を表す。

[5] 所属機関名　研究者の所属する機関の名称を表す。

[6] 所属部署　研究者の所属する機関の部署名を表す。

[7] 職名　研究者の職名を表す。

[8] 機関連絡先　研究者の所属する機関の連絡先を表す。

[9] ＴＥＬ　研究者の所属する機関、部署の電話番号を表す。

[10]ＦＡＸ　研究者の所属する機関、部署のファクシミリ番号を表す。

[11]学歴　研究者の学歴を表す。

[12]卒業年　研究者の卒業年を表す。

[13]職歴　研究者の職歴を表す。

[14]学会　研究者の所属する主な学会を表す。三つまでとする。

[15]従事業務（技術）　研究者の従事する技術的業務を、研究・開発、設計、技術企画等に分類して表示する（表３－４　Ａ欄参照）。

[16]従事業務（管理）　研究者の従事する業務のうち、管理的及び事務的業務を、研究・開発管理、技術管理、生産製造管理等に分類して表示する（表３－４　Ｂ欄参照）。

[17]従事期間　研究者がレーザー関連の研究開発等の業務に対して、どの程度の期間従事していたかを表す。延べの年数で示す。

[18]対象レーザー種別（従来）　研究者がこれまでに従事したレーザーの種別を、レーザー一般、気体ガスレーザー、液体レーザー等に分類したもの。また気体レーザーの中でも希ガス／希ガスイオンレーザー、金属／金属イオンレーザーなど小分類を作成している（表３－１参照）。

[19]対象レーザー種別（今後）　研究者が今後重点とすべきレーザーの種別を、レーザー一般、気体ガスレーザー、液体レーザー等に分類したもの。また気体レーザーの中でも希ガス／希ガスイオンレーザー、金属／金属イオンレーザーなど小分類を作成している（表３－１参照）。

[20]対象分野（従来）　研究者がこれまで従事した業務で対象となった主たる応用分野を、基礎科学研究、機械工作加工、電子工業応用等の分野の中から選んでいる（表３－２参照）。

[21]対象分野（今後）　研究者が今後重点とすべき対象とする主たる応用分野を、基礎科学研究、機械工作加工、電子工業応用等の分野の中から選んでいる（表３－２参照）。

[22]主要研究　最近のレーザーに関係した主要研究開発のテーマを示す。原則として5年以内に行われたもの。

表５－２　レーザー研究者データ　（例）

研究者データ

1	整理番号	940369
2	１．研究者	藤岡　知夫
3	（ふりがな）	ふじおかともお
4	住所	東京都文京区西片２－１５－１８
5	所属機関名	東海大学
6	所属部署	理学部物理学科
7	職名	教授
8	機関連絡先	理学部物理学科
9	ＴＥＬ	0463-58-1211
10	ＦＡＸ	0463-58-9543
11	学歴	慶応義塾大学大学院工学研究科
12	卒業年	1965
13	職歴	1980年慶応義塾大学理工学部教授、1984年（財）工業開発研究所レーザーセンター長、1990年東海大学教授
14	学会	ＩＥＥＥ、Physical Society of America、応用物理学会
15	２．従事業務（技術）	研究・開発、教育
16	従事業務（管理）	
17	３．従事期間	30
18	４．対象ﾚｰｻﾞｰ種別(従来)	レーザー一般、気体、ＣＯ2、化学、エキシマ、その他気体
19	対象ﾚｰｻﾞｰ種別(今後)	ＣＯ2、化学、半導体、Ⅱ－Ⅵ属半導体
20	４．対象分野（従来）	基礎科学研究、機械工作加工、電子工業応用、計測
21	対象分野（今後）	基礎科学研究、機械工作加工、計測
22	５．主要研究	ＣＯ2レーザー（スラブ型）、レーザー共振器

（３）レーザー研究機関データベース

レーザー研究機関データベースのデータ項目は以下の20項目である。

[1] 整理番号　毎年の更改を考慮に入れ、年次とデータの通し番号の組み合わせとなっている。（940001～）

[2] 機関名　回答した研究機関の名称を表す。

[3] ふりがな　研究機関の名称のふりがなを表す。

[4] 部署名　研究機関の担当所属部署の名称を表す。

[5] 所在地　研究機関の所在地を表す。

[6] 部署責任者　研究部署の責任者名を表す。

[7] ＴＥＬ　研究機関、部署の電話番号を表す。

[8] ＦＡＸ　研究機関、部署のファクシミリ番号を表す。

[9] 連絡先　研究機関の回答者の連絡先を表す。

[10]ＴＥＬ　研究機関の回答者の電話番号を表す。

[11]ＦＡＸ　研究機関の回答者のファクシミリ番号を表す。。

[12]従事業務（技術）　研究機関（部署）のレーザーに関する主たる技術的業務内容を、研究・開発、設計、技術企画等に分類して表示する（表３－４　Ａ欄参照）。

[13]従事業務（管理）　研究機関（部署）のレーザーに関する主たる管理及び事務的業務を、研究・開発管理、技術管理、生産製造管理等に分類して表示する（表３－４　Ｂ欄参照）。

[14]レーザー関連スタッフ　研究機関（部署）でレーザー関連業務を担当しているスタッフの数を示す。

[15]内訳　研究機関（部署）でレーザー関連業務を担当しているスタッフの数のうち、内訳が分かる場合に、研究開発担当者、生産担当者、業務管理担当者に分けて示している。

[16]対象レーザー種別（従来）　研究機関（部署）がこれまでに行った業務で対象としたレーザーの種別を、レーザー一般、気体ガスレーザー、液体レーザー等に分類したもの。また気体レーザーの中でも希ガス／希ガスイオンレーザー、金属／金属イオンレーザーなど小分類を作成している（表３－１参照）。

[17]対象レーザー種別（今後）　研究機関（部署）が今後重点とすべきレーザーの種別を、レーザー一般、気体ガスレーザー、液体レーザー等に分類したもの。また気体レーザーの中でも希ガス／希ガスイオンレーザー、金属／金属イオンレーザーなど小分類を作成している（表３－１参照）。

[18]対象分野（従来）　研究機関（部署）がこれまで行った業務で対象となった主たる応用分野を、基礎科学研究、機械工作加工、電子工業応用等の分野の中から選んでいる（表３－２参照）。

[19]対象分野（今後）　研究機関（部署）が今後重点とすべき対象とする主たる応用分野を、基礎科学研究、機械工作加工、電子工業応用等の分野の中から選んでいる（表３－２参照）。

[20]主要研究　研究機関の最近のレーザーに関係した主要研究開発のテーマを示す。原則として5年以内に行われたもの。

表５－３　レーザー研究機関データ　（例）

研究機関データ

1	整理番号	940068
2	１．機関名	東海大学
3	（ふりがな）	とうかいだいがく
4	部署名	工学部光工学科
5	所在地	259-12　平塚市北金目１１１７
6	部署責任者	若木　守明（教授）
7	ＴＥＬ	0463-58-1211
8	ＦＡＸ	0463-59-2594
9	連絡先	若木　守明
10	ＴＥＬ	0463-58-1211
11	ＦＡＸ	0463-59-2594
12	２．主たる業務（技術）	研究・開発、教育
13	主たる業務（管理）	
14	３．ﾚｰｻﾞｰ関連ｽﾀｯﾌ	4
15	内訳	研究4
16	４．対象ﾚｰｻﾞｰ種別(従来)	ＣＯ2、固体
17	対象ﾚｰｻﾞｰ種別(今後)	色素、固体、光パラメトリック、半導体
18	４．対象分野(従来)	基礎科学研究、医用・バイオ
19	対象分野(今後)	基礎科学研究、計測、医用・バイオ
20	５．主要研究	ＣＯ2レーザ光導波用中空導波路の開発、中空導波路用ＴＥ01特殊モード発振ＣＯ2レーザの試作、フェムト秒レーザ光伝導スイッチにより発生した電気信号の伝搬解析、エキシマレーザドライエッチング法を用いたＺｎＯ３次元導波路の試作、ＣＯ2レーザーアニールによるＺｎＯ薄膜光導波路の伝搬損失低減、メラニン性皮膚疾患治療における医療レーザー作用の基礎研究、パルスＹＡＧレーザーを用いた血管形成術の基礎的検討、パルス幅の異なるルビーレーザー装置による色素沈着性皮膚疾患に対する治療効果の比較

5．2　データベースシステム

3種類のデータベースそれぞれが保有すべき「情報」については既に示したとおりである。以下では、そうしたデータベースをどのように具体化すべきかを検討した結果について述べる。

一般にデータベースといっても多様である。大規模なオンライン・データベース、対象業種や領域を限定したＣＤ－ＲＯＭあるいはフロッピー・ディスク・ベースでのデータベースなど、目的や用途に応じて多様な利用環境が提供されている。本データベースは、レーザーといった特定領域にテーマを絞る一方、研究者をはじめとするレーザー関連者にとって、目的に応じたきめ細やかな検索等が可能なシステムを提供することを主眼としている。これまでに述べた主旨からも、パソコンをベースとし、フロッピー・ディスク等の記録媒体によるデータベース提供が妥当と考えられる。

パソコンをベースとする場合、潜在ユーザのハードウェア／ソフトウェア環境をどのように想定するかが問題となる。パソコンメーカーからは年々数多くの機種が市場に投入され、開発／供給されているアプリケーション・ソフトウェアも膨大なものとなっている。周知のようにハードウェア／ソフトウェアの互換性は極めて限定されているし、また、バージョン・アップ等新旧の世代交替も激しい。同一ハード、あるいはそのシリーズでも、新機種用のソフトが旧機種で利用可能とは必ずしも限らない。

レーザー関連者が保有するパソコンやソフトも多様と考えられる。開発した本データベースが広く利用されるためには、そうしたパソコン環境をどのように想定するかが重要である。

以下ではこうした問題に関しての考察について述べる。

（１）パソコン環境

パソコンの技術進歩が極めて早いことや、市場での競合の激しさはここで改めていうまでもない。簡単にいえば、心臓部を成すプロセッサの高速化、ＲＡＭの大容量化、ハード・ディスク等記録媒体の大容量化と高速化、こうしたハードの進展に対応したＯＳ（基本ソフト）の高度化と、これらすべての進展に対応したアプリケーション・ソフトウェアの高度化によって、これまでの歴史的経緯が要約されよう。

そうしたなかでわが国において現在、おおまかには、ＮＥＣ製のＰＣ－９８００シリーズ、ＩＢＭ社製パソコン及びその互換機（いわゆるＡＴ互換機）、アップル社製マッキントッシュ・シリーズの三つが、パソコンの主流を構成しつつあると考えられる。ＯＳの主流は、いわゆるＤＯＳマシンにおいて、ＭＳ－ＤＯＳ（注１）　Ｖｅｒ３．３からＶｅｒ５．０へ移行し、さらに上位バージョンへの一部移行が始まっている。また、パソコンの高速化／大容量化に伴ってウィンドウ環境が徐々に標準的となり、準ＯＳとしての地位を固めたといって過言ではない。

また、ウィンドウズマシンにおいては、アプリケーション・ソフトウェアがウィンドウズ対応であれば、概ねハードウェアに依存しないメリットがある。（即ち、メーカー／機種が異なってもアプリケーションが利用可能となる。）

本データベースの利用環境を決定するに当たっては、パソコン・ハードウェア／ソフトウェアのストックとしてのシェアや、こうした現在の潮流／方向性の双方を加味すべきであろう。具体的には、

① 例えば３８６マシン（注２）とＤＯＳ３．３バージョンの組み合わせ（若干古い機種）

② ウィンドウズ環境で利用可能な現在の主流マシン

を考慮すべきである。

注１：マイクロソフト社の商標。

注２：インテル社製プロセッサ、８０３８６を用いたパソコン。

（２）想定ユーザー

本データベースの利用を希望するユーザーが、どのようなニーズや取扱い能力を持っているかを想定する。いうまでもないことだが、個々人のパソコン環境や利用しているデータベース・ソフトウェアが、個々人にとっては最も慣れたものである。一方、そうした個々への対応には限界がある。ここでは、以下の三つのタイプのユーザーを想定した。

第一のタイプは、若干古いパソコンに利用環境が限定されているユーザーである。（前述のＤＯＳ３．３／３８６マシンが典型例。）ウィンドウズ・マシンでの利用が困難で、現状のマシンで走るデータベース・ソフトウェアでの提供を求め、操作方法の修得の必要性をやむなしと考えるユーザーである。

第二のタイプは、パソコンに関してあまり深い知識はなく、本データベースの利用ニーズはあるものの、そのために苦労してデータベース・ソフトウェアの操作方法等を学習する意欲は無いとするユーザーである。（以下純ユーザー。）こうした潜在ユーザーに対しては、完全にメニュー化された形での提供が必要であろう。メニュー等視覚的なユーザー・インタフェースの提供には、ウィンドウズ対応ソフトウェアが最適と考えられる。ただし比較的新しいハードウェアが必要となる。

第三のタイプは、パソコンに関する知識をある程度豊富に持っているユーザー、あるいはそうした人を周辺に持つユーザーである。自らが好むパソコンや、データベース・ソフトウェアに対応させるため、データ変換も行うことができるタイプである。こうしたユーザーは標準的な構造（変換可能な構造）でのデータ提供を望む可能性が高い。

現実的には、上記の三つのタイプの中間など様々であろうが、上記典型例において利用可能なように本データベースを提供することができれば、ほぼニーズは満たせるものと考えられる。

（3）データベース・ソフトウェア

1）カード型とリレーショナル型

最終的には市販のどのデータベース・ソフトウェアに対応させて本データベースを構築するかを決定しなくてはならない。そうした市販ソフトウェアに関して述べる前に、データベース・ソフトウェアの大きく異なる二つのタイプ、即ちカード型とリレーショナル型について概説する。

データベースの基本的な構成要素は「テーブル（あるいは表）」である。表は行と列により構成されるが、データベース用語としては、行をレコード、列をフィールドと呼ぶのが一般的である。

氏名	郵便番号	府県名、住所、、、

←レコード

↑”氏名”フィールド

例えば住所録を考えたとき、氏名、郵便番号、府県名、市町村名、番地、電話番号、などの「フィールド」が集まって一つの「レコード」を構成する。100名分の住所録であれば100レコードにより構成された「住所録データベース」ということができる。これを用いて、例えば特定府県に在住する人を抽出することを考えた場合、「府県名フィールドで検索し、合致するレコードを抽出する」ことになる。

最も単純な「データベース構造」はまさにこの形であり、一般にはフラットファイルデータベースと呼ばれる。こうした場合、極端にいえば市販の表計算ソフトウェアでもデータベースの構築と検索等の利用が可能である。「カード型」データベースは、簡単にはこ

のタイプと考えて良い。データベースを道具とし、自ら構造を決定し自ら利用するような場合（即ち利用者＝開発者）、最も気軽に取扱いができることにひとつの特徴がある。一方、問題もある。

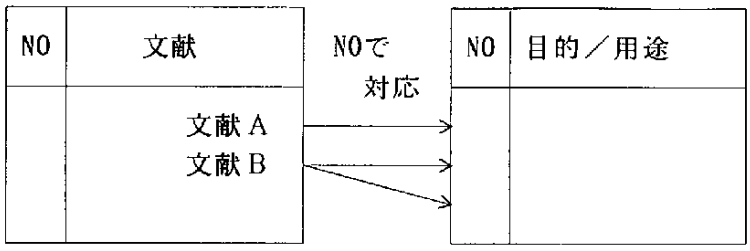
例の一つを今回のレーザ研究開発データベースにとる。例えば研究開発の「目的や用途」は一つとは限らない。このため、「目的／用途」項目を増やす必要がある。仮に以下のようなデータベース構造とした場合、次の２点で非効率な面が認められる。

文献内容	目的／用途１	同２	同３	同４	同５	

第一の点は、例えば目的／用途フィールドを、一般には最大数を見込んで用意する必要があることである。幾つかのレコードはそれを必要とするが、二つあるいは三つで済む場合も多い。こうした構造では、例えば４番目以降のフィールドが空白のレコードが多数存在し、無駄を生ずる。

第二の点は、利用者サイドの問題である。ある目的／用途に合致する文献を検索しようとした場合、「目的／用途１」フィールドで検索し、次に「同２」フィールドで検索し・・・と同様な過程を繰り返すか、もしくはそれぞれのフィールドを「ＯＲ文」で結合しなくてはならない。一言でいえばユーザー負担が増すおそれがある。

これは「目的／用途」に限らない。技術区分や著者に関しても同様である。このような問題を回避し、同様なカテゴリーに属するデータを一つのテーブルに納め、複数のテーブル間にリレーションを設定して用いようとするものがいわゆるリレーショナル型データベースである。上記を図式化すると以下のようになる。



図の例では文献Ａは目的／用途が一つ、文献Ｂは二つと対応している。例えば10の目的／用途に対応する文献があってもかまわず、無駄は生じない。検索も目的／用途テーブルで行えば１回で済む。一般には、重複情報を可能な限り持たないように定められたデータベース構造がよいものとされており、リレーショナル型はそうした考えに対応するものである。同様に利用の局面を詳細に吟味することにより利用者の負担の最小化と、効率的利用を可能とする。一方、開発にはかなりの専門的知識や経験が必要とされ、一般には開発者と利用者が異なる場合が多い。

本データベースの提供を考える場合、以上のカード型かリレーショナル型かも考慮する必要があろう。

２）市販データベース・ソフトウェア

これまでに提供されている幾つかの市販データベース・ソフトウェアを以下に示す。（それぞれバージョンにより名称が変化するなどの例もあるため、名称は通称とした。）

名称	タイプ	ＤＯＳ	ＷＩＮ	開発／販売
ＣＡＲＤ	カード型	○		アスキー
ＩＲＩＳ	カード型	○		パーソナルメディア
ｄＢＡＳＥ３	ＲＤＢ	○		アシュトン・テイト
桐	ＲＤＢ	○		管理工学研究所

APPROACH	ＲＤＢ		○	ロータス
ＡＣＣＥＳＳ	ＲＤＢ		○	マイクロソフト
ＤＢＰｒｏ	ＲＤＢ		○	新日鐵
ＰＡＲＡＤＯＸ	ＲＤＢ		○	ボーランド

注３：ＲＤＢ：リレーショナル型データベース

ＣＡＲＤ、ＩＲＩＳ、ｄＢＡＳＥなどは、パソコン普及の初期からあるもので、これら以外にも多数の市販ソフトウェアが存在する。公開調査資料がないため、正確にはどのような利用シェアとなっているかは不明であり、とりわけカード型で顕著である。リレーショナル型の近年での主流は、桐、ＡＣＣＥＳＳなどとされている。桐は、リレーショナル型データベース・ソフトウェアとしては国内ではかなりのシェアを持つとされるが、ＤＯＳベースであり、ウィンドウズ対応はまだない。（９４年末現在）また、他との比較で若干高価との評価がある。ＡＰＰＲＯＡＣＨ以降のソフトウェアはほぼすべて、ウィンドウズ対応の本格的なリレーショナル型データベース・ソフトウェアであり、業務用としての使用にも耐えるものとされている。

旧機種を利用するユーザーに対してカード型のソフトウェア、純ユーザーに対してウィンドウズ対応のリレーショナル型ソフトウェアでの提供が妥当と考えられる。

（４）今回採用したデータベース提供方式

以上述べたことを総合し、本レーザーデータベースの提供にあたっては、以下の三つの方式を採用した。

① Let's アイリス：比較的初期の段階から供給されているソフトであること、ＤＯＳベースの古いマシンでも動くこと、日本において保有シェアが圧倒的なＮＥＣのＰＣ９８００

シリーズに対応していることから、比較的初期段階からパソコンを利用してきたユーザー、古いマシンを保有するユーザーなどに妥当なものとして選定した。

②ＡＣＣＥＳＳ：最近のウィンドウズ環境の普及を考慮した場合ウィンドウズ対応ソフトウェアが望まれること、完全にメニュー化することが可能でありＡＣＣＥＳＳそのものの操作手順を覚える必要性が無いことなどから、ウィンドウズ・マシン・ユーザーや、操作の容易性を望むユーザーに妥当なものとして選定した。

③ＣＳＶテキスト・ファイル：①、②の方式ですべての潜在ユーザーのニーズに対応することは困難である。ＣＳＶテキスト・ファイルは、データ間を特定の記号（例えば「，」）で区切るなど、一定のルールに基づいた構造を持つファイルであり、パソコンのハードウェア／ソフトウェアや、新旧に関係なく共通である。表計算ソフトウェアやデータベース・ソフトウェアの多くは、ＣＳＶテキスト・ファイルを通じて異なるソフトウェアで作成されたデータを読むことができるようになっている。既に他のデータベース・ソフトウェアを利用しているなどで、上記①、②以外の方式での供給を望むユーザーに対してはこのＣＳＶテキスト・ファイルが妥当と考える。ただし、技術上、データベースのタイプとしてはカード型のみとなる。

上記の三つの方式で、本データベースの利用を希望するユーザーほぼすべてに対応可能と考える。

（５）開発したデータベース

前述の三つのタイプで供給されるデータベースについて、操作方法をＡＣＣＥＳＳを中心として説明する。

１）Let's アイリス

Let's アイリスでの本レーザーデータベース利用を希望するユーザーは、データベース・ソフトウェアである Let'S アイリスそのものを保有する必要がある。データベースの取扱

いについては、Let's アイリスのマニュアルを参照されたい。

2）ＡＣＣＥＳＳ

ＡＣＣＥＳＳで提供されるデータベースは完全にメニュー化されている。ＡＣＣＥＳＳのソフトウェアを保有する必要があることは Let'sアイリスと同様だが、ＡＣＣＥＳＳそのものの取扱いをマニュアルで覚える必要はない。以下、操作方法や検索例等に関して説明する。

図５－１に本データベースを取り扱うためのメイン・メニューを示す。最初にレーザー研究開発、研究者、研究機関のいずれにおいて検索を行うかを、ボタンをクリックして選択する。

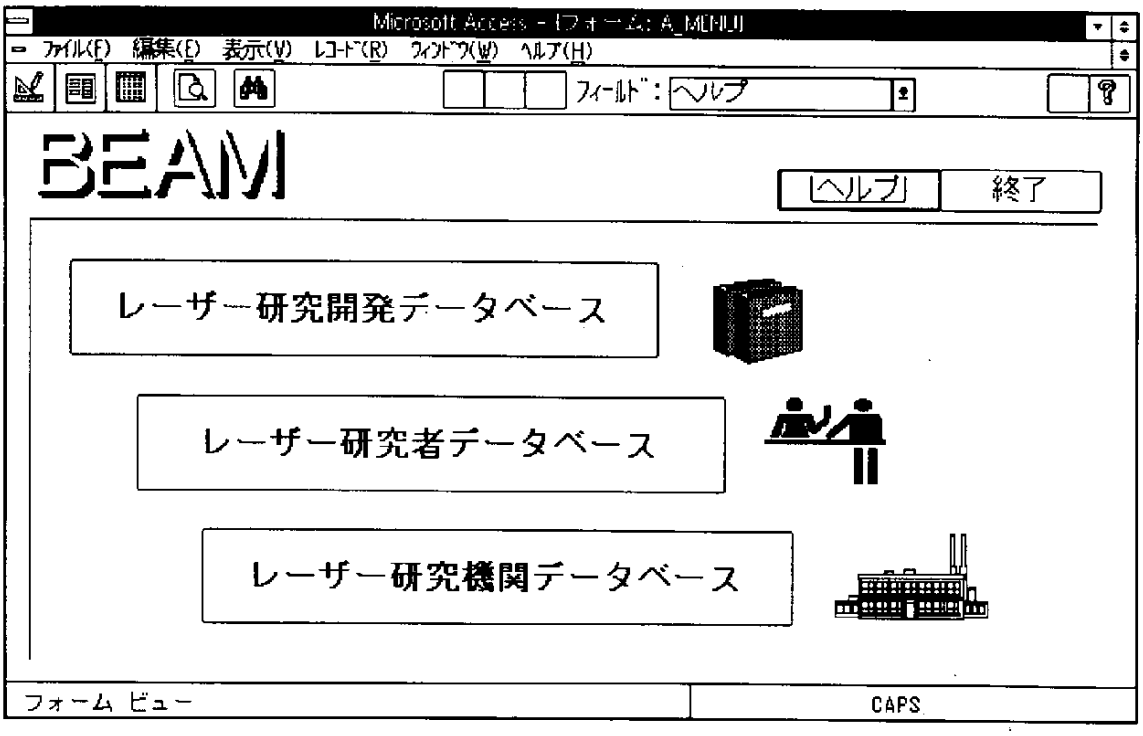


図５－１　メイン・メニュー

メイン・メニューで「レーザー研究開発データベース」ボタンを押すと次の画面に移る。

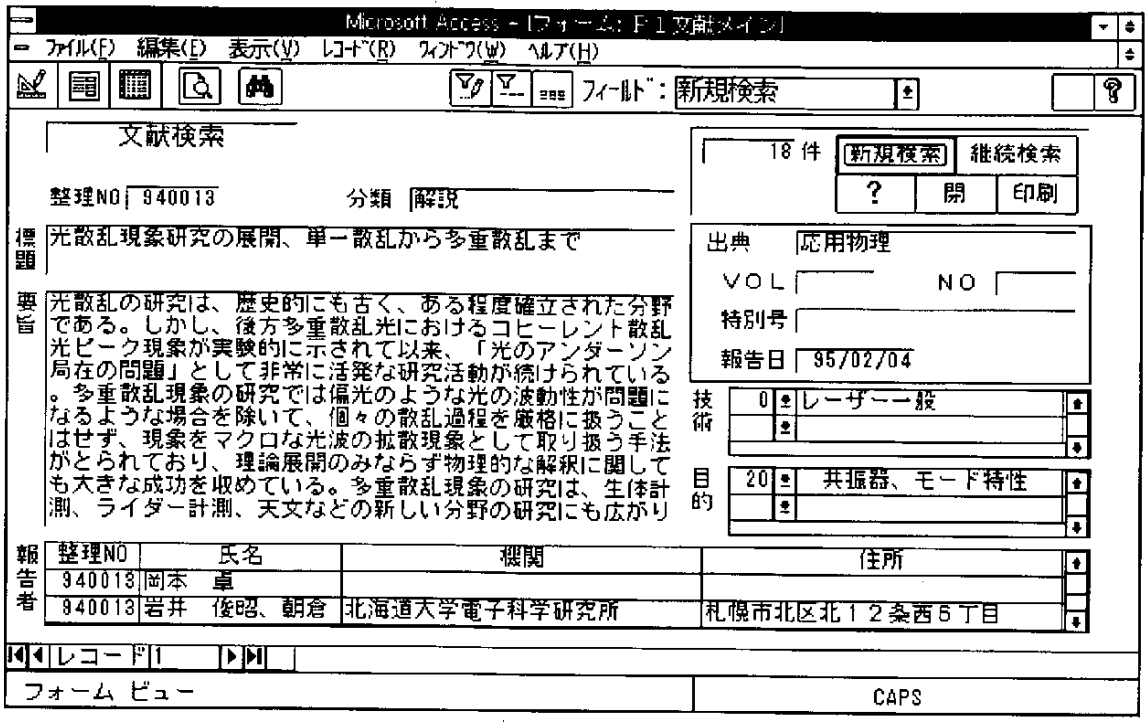


図５－２　研究開発データベース検索画面

画面右上にある「新規検索」あるいは「継続検索」ボタンを押すことにより、キーワード入力画面に移る。そこでキーワードを入力して検索を行うことにより、この画面に戻る。最初にキーワードを入力したり、あるいは新しいキーワードの組み合わせで検索を行う場合には「新規検索」ボタンを押す。一方、キーワードを追加したり変更したりして検索する場合には「継続検索」ボタンを押す。「継続検索」では、前に入力したキーワードを記憶しており、追加修正を行うことが可能である。

画面には抽出された文献の件数と、その最初の文献が表示される。該当文献が複数あるときには左下のボタンを押して見ることができる。左下のボタンは、左から右へ、それぞれ「先頭、前、次、最後」の文献に対応する。「？」ボタンを押すとこうした操作方法の説明が表示され、「閉じる」ボタンでメインメニューに戻る。「印刷」ボタンを押すと抽出された文献が印刷される。

なお、「要旨」の欄外に文章が続いている場合には、マウスを要旨欄の文字にあわせてクリックした後（要旨欄にカーソルをあわせ選択した後）、カーソルを移動させると欄外

の文章を見ることができる。全ての項目は読みとり専用であり、修正を加えることはできない。図５－３に「？」ボタンにより表示される操作方法を示す。

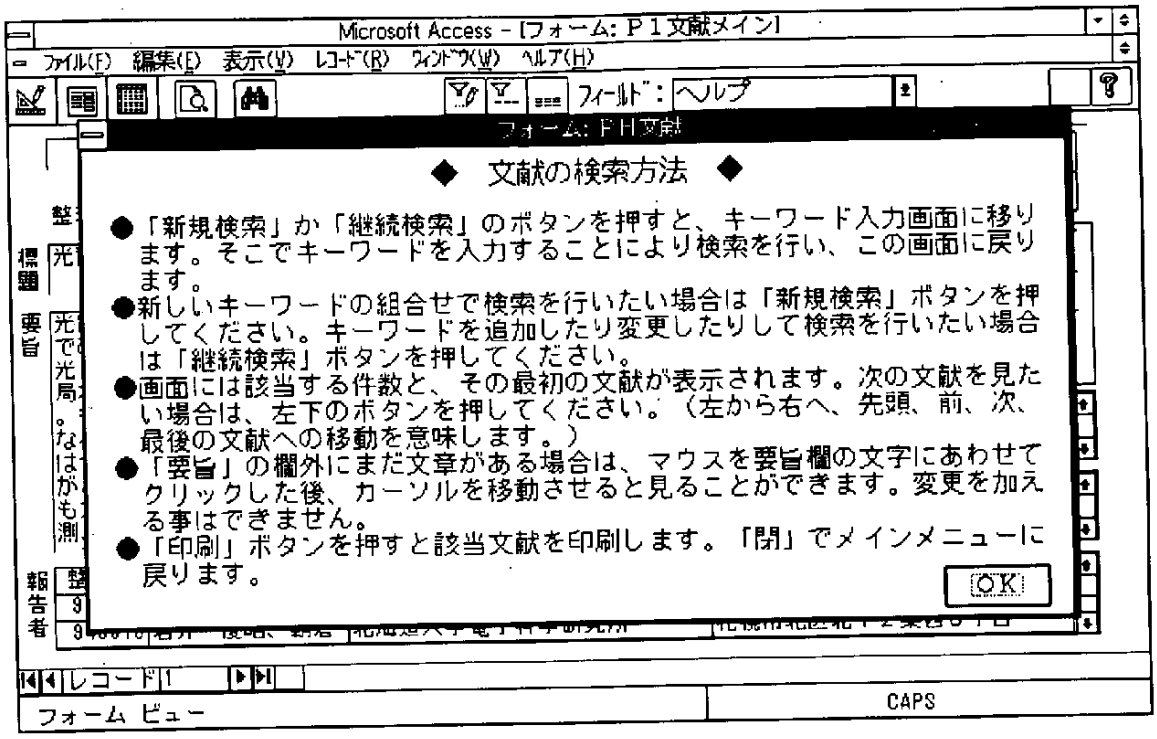


図５－３　検索方法ヘルプ画面（研究開発データベース）

次の図５－４はキーワード入力画面である。タイトル、要旨、機関名、著者名、技術区分、目的/用途区分をキーワードとして検索することが可能である。入力操作には、

－キーワードを文字入力する

－予め用意された中から選択する

の二つのタイプがある。タイトルから著者名までは前者、技術および目的/用途区分に関しては後者の方法で入力する。「選択」を行うには、必要に応じてスクロール・ボタンを押すなどして該当項目を捜し、マウスでクリックする。

例えば要旨欄に「半導体」と入力して検索を行った場合は、要旨中に「半導体」の単語を含む全ての文献を抽出する。また図の例のように、目的/用途区分で「基礎研究」を同時に選択している場合は、二つの「ＡＮＤ条件」で検索する。

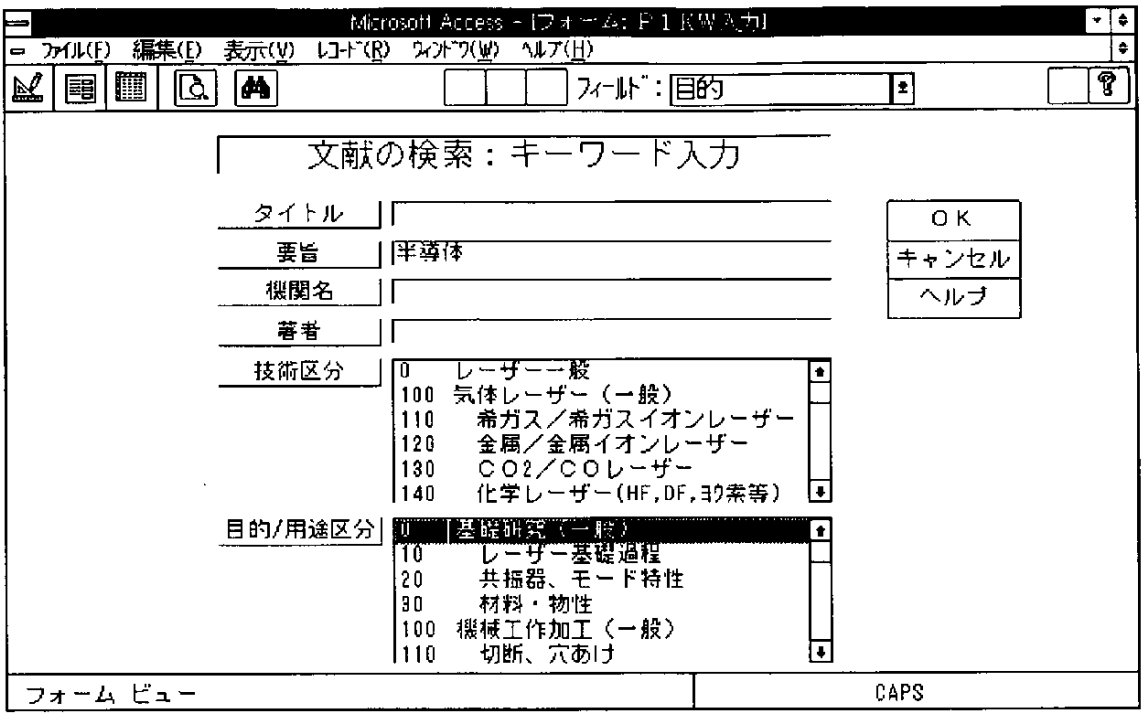


図５－４　キーワード入力画面（研究開発データベース）

「ＯＫ」ボタンを押すことにより、検索を行った後、前述の図５－２の画面に戻る。検索を中止するには「キャンセル」ボタンを押す。また「ヘルプ」ボタンを押すことにより、以上の操作方法が次に示すように表示される。

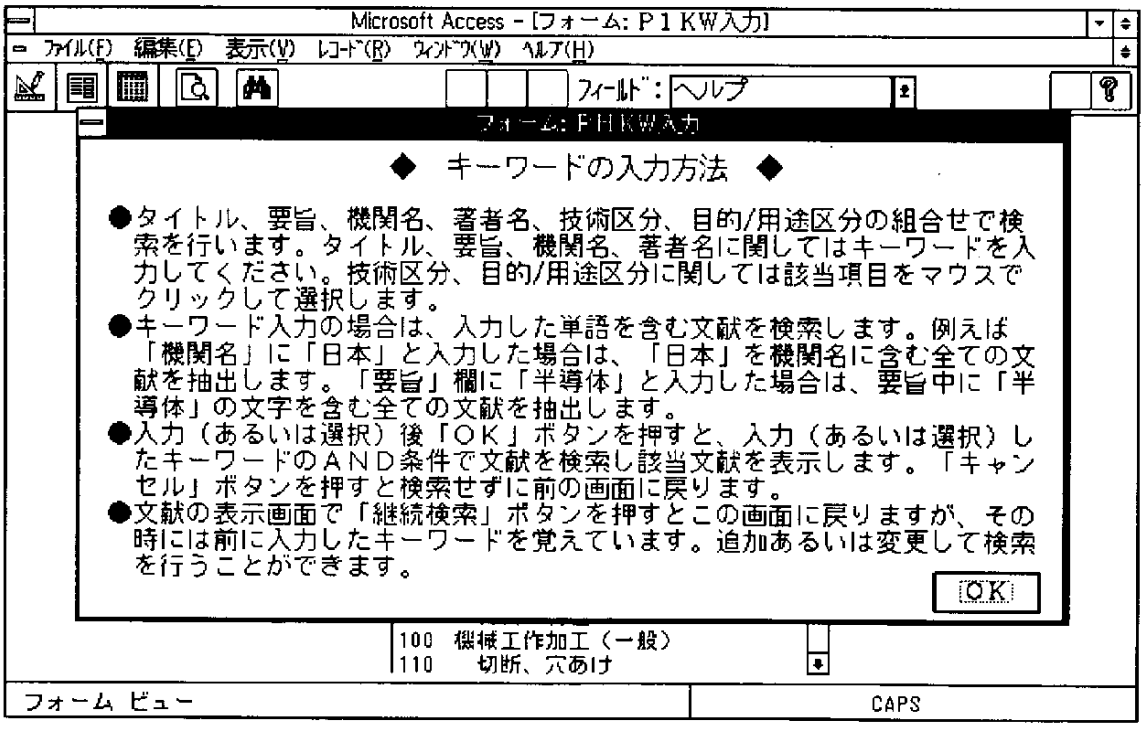


図５－５　キーワード入力ヘルプ画面（研究開発データベース）

以上のように、検索に係わる基本画面は二つであり、それらを切り替えながら検索を行う。この方式は他の二つのデータベースに共通である。

図５－６に「研究者データベース」の検索画面を示す。「研究開発データベース」を閉じ、メイン・メニューにおいて「レーザー研究者データベース」ボタンを押すと表示される。

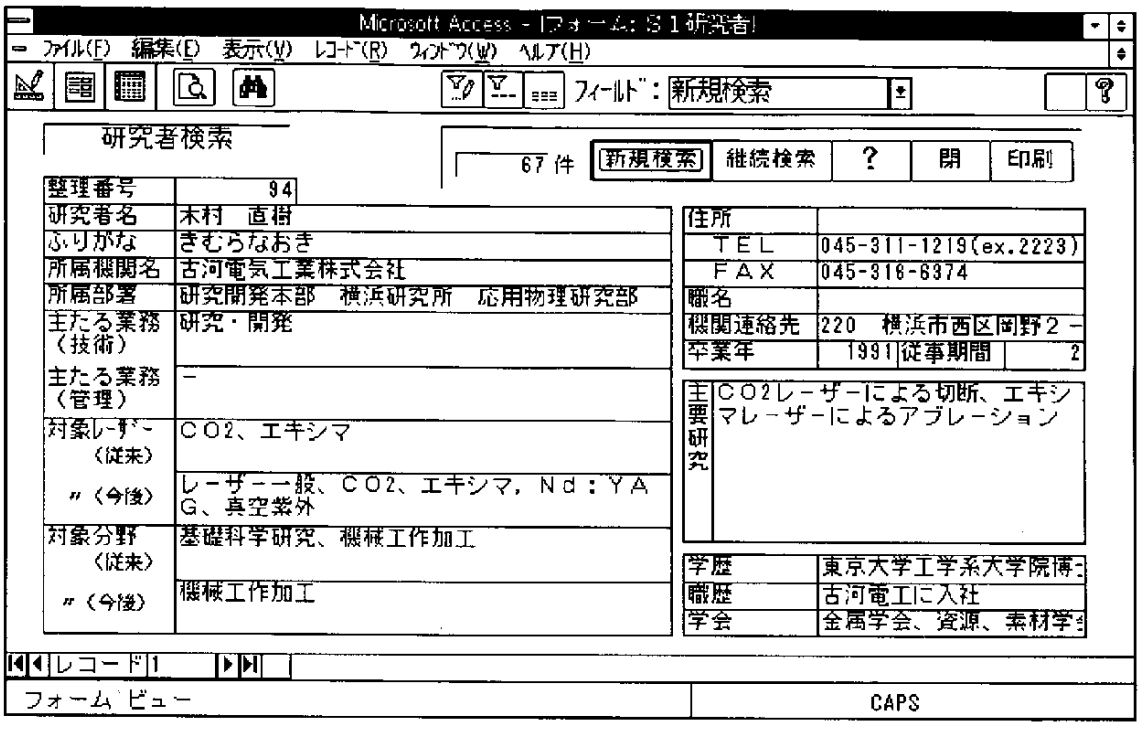


図５－６　研究者データベース検索画面

配置は若干異なるが、操作ボタンの種類や機能は「研究開発データベース」と全く変わらない。画面の構成上すべての情報を表示できない項目に関しては、カーソルを移動して見ることが可能なようになっている。

研究者データベースにおいては、すべてのキーワードは入力式であり、選択式の項目はない。図５－７に研究者データベースのキーワード入力画面を示す。図の例は、「Ｎｄ（の単語を含む）レーザーを従来より研究している大学」をキーワードとしている。キーワードの入力方法を説明するヘルプ画面を図５－８に示す。

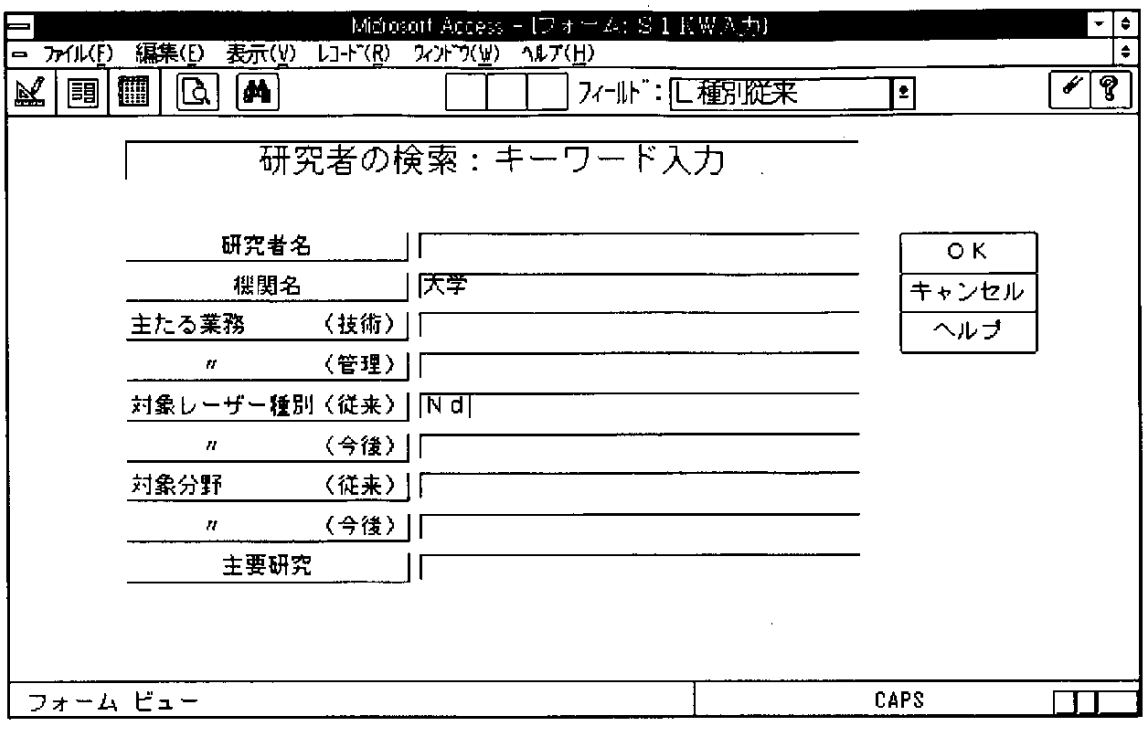


図５－７　キーワード入力画面（研究者データベース）

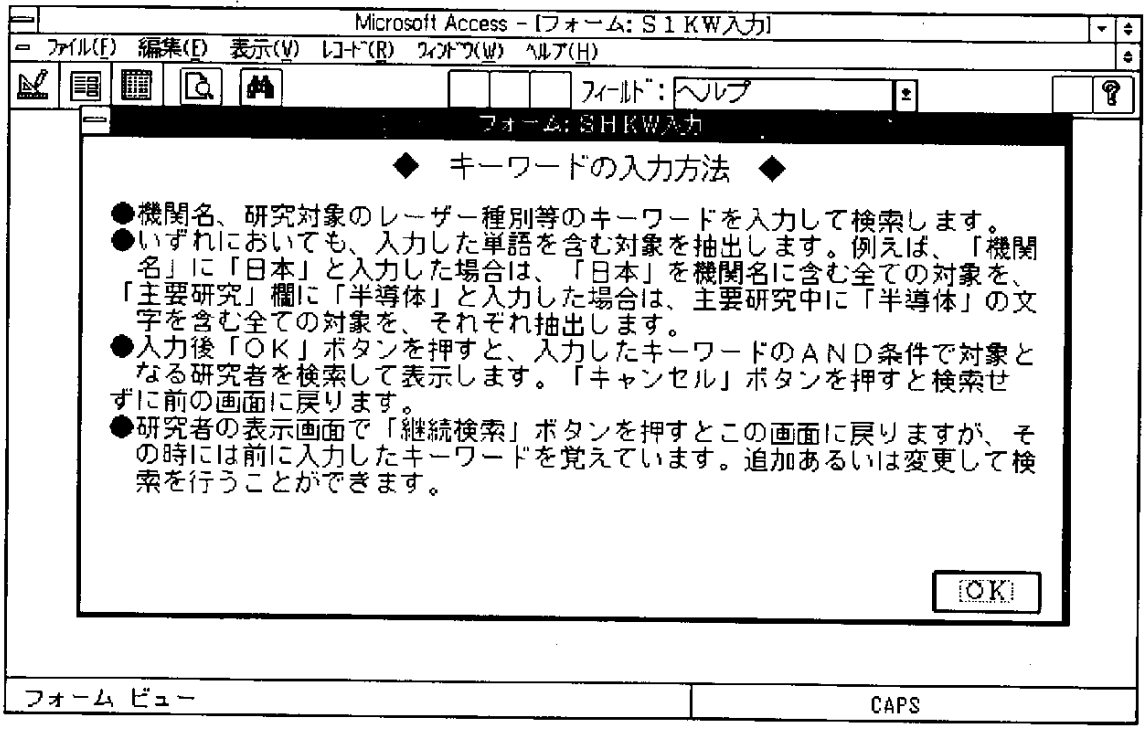


図５－８　キーワード入力ヘルプ画面（研究者データベース）

図５－９、図５－１０に研究機関データベースの基本２画面を示す。項目が若干異なるのみで、操作方法は研究者データベースと全く同様である。

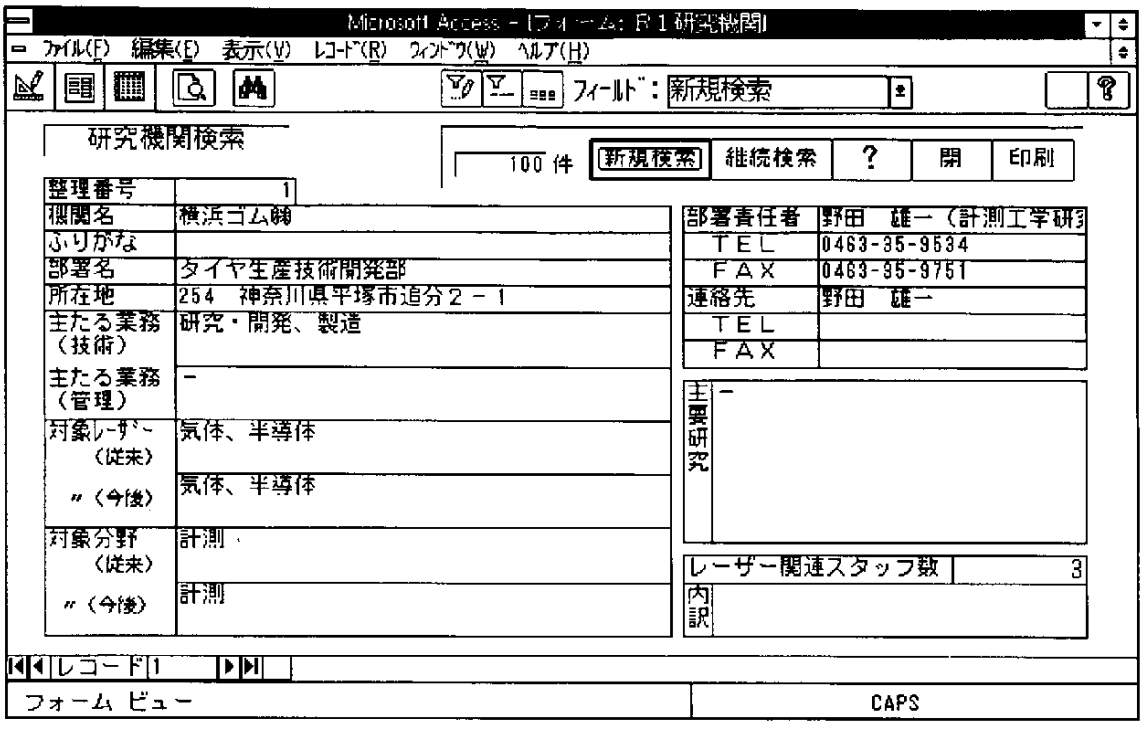


図５－９　研究機関データベース検索画面

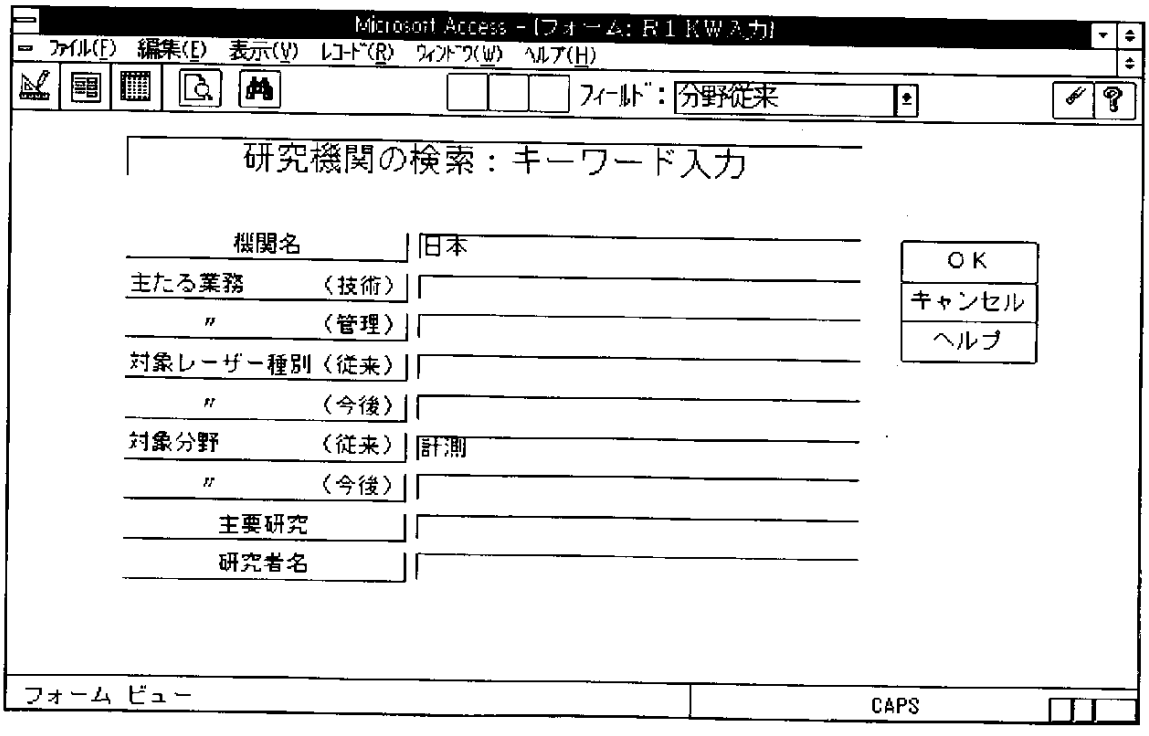


図５－１０　キーワード入力画面（研究機関データベース）

以上がＡＣＣＥＳＳで開発されたデータベースの基本的な操作方法である。簡単に言えば、検索方法をボタンで選択した後 、キーワードを入力するか選択する事により検索が可能なようになっている。データベースソフトの取扱い等に関し新たにマニュアルを読むなどの必要性は無く、レーザー関連者が最も容易に利用可能なように準備されている。検索後の印刷例をそれぞれ以下に示す。

レーザー研究開発データベース：検　索　結　果

整理NO	940013	報告種別	解説

標題　光散乱現象研究の展開、単一散乱から多重散乱まで

要旨

光散乱の研究は、歴史的にも古く、ある程度確立された分野である。しかし、後方多重散乱光におけるコヒーレント散乱光ピーク現象が実験的に示されて以来、「光のアンダーソン局在の問題」として非常に活発な研究活動が続けられている。多重散乱現象の研究では偏光のような光の波動性が問題になるような場合を除いて、個々の散乱過程を厳格に扱うことはせず、現象をマクロな光波の拡散現象として取り扱う手法がとられており、理論展開のみならず物理的な解釈に関しても大きな成功を収めている。多重散乱現象の研究は、生体計測、ライダー計測、天文などの新しい分野の研究にも広がりつつある。光散乱の研究は単一散乱から多重散乱へと確実に進展している。

報告者

氏名	岡本　卓
機関	
住所	
氏名	岩井　俊昭、朝倉　利光
機関	北海道大学電子科学研究所
住所	札幌市北区北１２条西６丁目

目的区分

020	共振器、モード特性

技術区分

000	レーザー一般

出典　応用物理　VOL　　NO　　

レーザー研究者データベース：検索結果

整理番号	94

研究者名	木村　直樹
ふりがな	きむらなおき
住所	

所属機関名	古河電気工業株式会社
所属部署	研究開発本部　横浜研究所　応用物理研究部
職名	
機関連絡先	220　横浜市西区岡野２－４－３
	ＴＥＬ　045-311-1219(ex. 2223)　ＦＡＸ　045-316-6374

主たる業務（技術）	研究・開発
〃（管理）	ー

対象レーザー（従来）	ＣＯ2、エキシマ
〃（今後）	レーザー一般、ＣＯ2、エキシマ，Ｎｄ：ＹＡＧ、真空紫外

対象分野（従来）	基礎科学研究、機械工作加工
〃（今後）	機械工作加工

主要研究	ＣＯ2レーザーによる切断、エキシマレーザーによるアブレーション

学歴	東京大学工学系大学院博士課程修了
卒業年	1991 年
職歴	古河電工に入社
学会	金属学会、資源、素材学会
従事期間	2 年

レーザー研究機関データベース：検索結果

整理番号	40

機関名	京都大学			
ふりがな				
部署名	理学部地球物理学教室			
所在地	606-01　京都市左京区北白川追分町			
部署責任者	木田　秀次			
連絡先	ＴＥＬ	075-753-3910	ＦＡＸ	075-711-1374
	竹本　修三			
	ＴＥＬ	075-753-3912	ＦＡＸ	075-753-3917

レーザー関連スタッフ数	1名	内訳	研究1

主たる業務（技術）	研究・開発、教育
〃（管理）	―
対象レーザー（従来）	気体、半導体
〃（今後）	Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
対象分野（従来）	宇宙・環境
〃（今後）	宇宙・環境

主要研究	レーザーホログラフィを用いた地殻変動観測装置、電子式スペックルパターン干渉法を用いた地殻歪・応力測定装置、マイケルソン干渉計方式の伸縮計、マイケルソン干渉計方式の水管傾斜計

3）ＣＳＶテキスト・ファイル

ＣＳＶテキスト・ファイルは以下に具体例を示す構造であり、極端にはワープロやエディタでも読むことが可能である。

－レーザー研究開発データベースでのＣＳＶテキスト・ファイル例－

940001,"半導体レーザーの発振スペクトル制御、狭線幅化と波長可変","半導体レーザーの性能はここ数年の間に飛躍的に向上した。本総合報告では、半導体レーザーの狭線幅化技術と波長可変技術について述べる。今までに、半導体レーザー単体のスペクトル線幅として3.6kHz、連続波長可変幅として7.2nmという値が報告されている。さらに電気的・光学的制御法により7Hzのスペクトル線幅が、また外部回折格子を用いることにより、非連続ながら240nmの波長可変幅が報告されている。これらの発振スペクトル制御技術は、主に光通信応用をターゲットに1.55μm帯の波長で発展してきたが、その他の波長帯においても適応可能な技術である。",,"総合報告","岡井　誠","日立製作所中央研究所","国分寺市東恋ケ窪１－２８０","応用物理１号"
940013,"光散乱現象研究の展開、単一散乱から多重散乱まで","光散乱の研究は、歴史的にも古く、ある程度確立された分野である。しかし、後方多重散乱光にお・・・

上の例で、「940001」が整理番号、「”半導体レーザーの発振スペクトル制御、狭線幅化と波長可変”」がタイトルである。この間に「,」がある。通称カンマ区切りと呼ばれるもので、フィールド間がカンマで区切られた構造となっている。逆にいえば、カンマによってフィールドが変わったことをソフトウェアが認識することができる。文字型のフィールドは「”－－－”」のように「”」で囲まれ、数値型フィールドは囲まれていない。レコードの変化は改行マーク（非表示）で認識される。上記の例では、940001レコードと、940013レコードの一部が示されている。ワープロ・ソフトウェアでＣＳＶファイルを読めば上記のような形になり、表計算ソフトウェアで読めば１セルに１フィールドが読み込まれ、１レコード１行の形で表形式で読むことができる。

ユーザーはＣＳＶファイル変換機能を持つ任意のデータベース・ソフトウェアで、最初にカード型としてこれを読み込み、任意の形に改造することが可能である。取扱いに関してはそれぞれのソフトウェア・マニュアルを参照されたい。

1．1．1　希ガス／希ガスイオンレーザー、金属／金属イオンレーザー

1）　希ガス／希ガスイオンレーザー

希ガスレーザーの代表として、Ｈｅ－Ｎｅレーザーが挙げられる。　主な発振波長は0.6328μm（赤）で、数100μW～数10mW程度の連続出力が得られている。最近では、発振波長1.523μm（赤外）、0.5435μm（緑）、0594 1μm（黄）の装置も市販されていて、レーザー出力はいずれもmW級である。[1)]
最近では、架空送電設備の不良碍子を検出するためにＨｅ－Ｎｅレーザーによる遠隔計測方法が試みられている。[2)]　このような電力分野への計測応用は、電力の安定供給を支えるという観点から、将来有望と考えられる。
小形で低価格の半導体レーザーの開発にともない、半導体レーザーがＨｅ－Ｎｅレーザーの応用分野に入り込んできている。　しかし、Ｈｅ－Ｎｅレーザーは他のガスレーザーに比べて小形で使い勝手が良く、半導体レーザーよりも横単一モードが得られやすくコヒーレンスが高いので、今後とも科学・計測、産業分野で広く用いられるだろう。

希ガスイオンレーザーを代表するＡｒイオンレーザーは、近紫外から可視領域において連続発振光が得られる実用的なレーザーである。　発振波長0.3336μm～0.3638μm（近紫外）のマルチライン出力で5mW程度のものが、また0.4545μm～0.5145μm（可視光）のマルチライン出力で30W程度のものが市販されている。[1)]　特に強い発振線は0.488μm（青）と0.5145μm（緑）である。レーザープリンタ用光源などの情報記録分野や、レーザーＣＶＤ（Chemical Vapor Deposition）などの半導体プロセス分野などに利用されている。[3)]　また、網膜面での光吸収率が高い0.5145μm（緑）の波長を用いた、網膜の光凝固治療などの医療応用もある。[4)]
Ｋｒイオンレーザーの強い発振線は0.6471μm（赤）で、0.647μm～0.676μmのマルチラインで6Wの高出力を発生できる装置が市販されている。[1)]

希ガス／希ガスイオンレーザーは比較的完成度の高い装置で、大学や研究機関での研究例は少なく、主にメーカーによって装置の改良が進められている。　１９９４年の世界のＨｅ－Ｎｅレーザーとイオンレーザーの販売高の合計は、半導体レーザーを含む全レーザーの販売高～１０億ドルの３０％近くを占めていて、CO_2レーザーとＹＡＧレーザーに次ぐ販売高である。[5)]

「参考文献」

1）Laser Focus World Buyers Guide '95 (December 1994)
2）送電設備におけるセンサ技術の応用、電気評論、p.912 (1992年8月)
3）レーザー学会編：レーザープロセシング、4.4.1 レーザーＣＶＤ、p.57
（日経技術図書、1990年）
4）レーザー学会編：先端レーザーテクノロジー、レーザー医療技術、p.515
（日経技術図書、1992年）

5） S.G.Anderson, "Review and forecast of laser markets:1994," Laser Focus World, p.62 (January 1994)

2） 金属／金属イオンレーザー

銅蒸気レーザーは可視光領域の他のガスレーザー（Ｈｅ－Ｎｅレーザーや Ａｒイオンレーザーなど）に比べて高出力が得られる。 パルス発振で、波長０.５１０μｍと（緑）と０.５７８μｍ（黄）のマルテライン出力が得られる。 微細加工や計測応用に用いられる平均出力が１０W級のものから、レーザーウラン濃縮用の７００W級のものまである。[1)]

特に、ウラン濃縮用レーザーの高出力化については、プラズマ管の大体積化が試みられていて、管径８ｃｍ、管長３００ｃｍのものが開発されている。 米国ローレンスリバモア研究所（Lawrence Livermore National Laboratory）では、大口径化に伴うレーザーガスの温度上昇によるレーザー出力の低下を改善するために、プラズマ管内に同軸上に多数のモリブデン仕切板（Septum）を設けてプラズマを冷却して、レーザー出力２５５Wから３２５Wへと約１.３倍の向上を達成している。[2)] また米国では、政府の資金で開発されたレーザーやその技術を民生応用へ展開していく一環として、銅蒸気レーザーを穴あけ加工などに応用しようという動きがあり、３０以上の高アスペクト比の加工例が紹介されている。[3)]

低インダクタンス化を目的とした横方向励起型[4)]や臭化銅（ＣｕＢｒ）を用いた低温型（管壁温度～４００℃）の銅蒸気レーザーも開発されている。[5)]

金蒸気レーザーは波長０.６２８μｍ（赤）でパルス発振し、平均出力６Ｗ（０.６ｍＪ×１０ｋＨｚ）のものが市販されている。[6)] 特に、パルス発振によって高ピークパワー（数１０ｋW）の可視光が得られることから、選択的に癌細胞だけを消滅させる光化学治療に応用され始めている。

金属イオンレーザーの代表にＨｅ－Ｃｄイオンレーザーがある。 このレーザーはＡｒイオンレーザーと並んで連続紫外光を発振できるのが特徴である。 発振波長０.３２５μｍ（紫外）で出力１００ｍW級のものがある。[6)] 紫外線硬化性樹脂にＨｅ－Ｃｄイオンレーザー光を照射して固化させ、その形状をコンピュータ制御することによって複雑な立体モデルを容易に製作する光造形システムの光源として利用されている。[7)] この応用は、多品種少量生産、製造期間の短縮化、コスト低減化などの要求に相まって将来有望と考えられる。 Ｈｅ－Ｃｄイオンレーザーはレーザー励起源としての気体放電プラズマのどの部分を用いるかによって発振波長が異なる。 陽光柱形では０.４４１６μｍ（青）、貴ダコー形（カソードホロー形）では０.６３６μｍ（赤）と０.５３４μｍ（緑）を発振する。このため、一台の装置で三原色が得られるので三色レーザーとして画像記録応用に用いられている。[3)]

「参考文献」

1）レーザー学会編：先端レーザーテクノロジー、レーザーアイソトープ分離、p.391（日経技術図書、1992年）

2）Jim J.Chang, et al., "Beam characteristics of a large-bore copper vapor laser with a radiatively cooled plasma," SPIE Prpceedings, Vol.2118, pp.2-8 (1994)

3）Government sponsored laser technology transfer session, International conference on LASERS'92 (December 7-10, 1992)

4）T.Ogawa, et al., "The output characteristics of a transversely-excited copper vapor laser," SPIE Prpceedings, Vol.2118, pp.9-15 (1994)

5）N.V.Sabotinov, et al., "9.5-W copper HyBrID laser with a specific average output power of 2.0 W/cm^3," CLEO '94 Technical Digest, Vol.8, p.402 (1994)

6）Laser Focus World Buyers Guide '95 (December 1994)

7）川下英二、他：光造形システム・今後の展開、第32回レーザ熱加工研究会論文集、pp.109-117 (1994年7月)

8）レーザー学会編：レーザー技術の新展開、第2章 いろいろなレーザー、p.55 (学会センター関西、1994年)

1．1．2 CO_2・COレーザ　機械加工（原子力応用）

1. 世界の現状

1960年にメイマン（Maiman）が人工ルビーを媒質として発振に成功したレーザは，その後各種のレーザが開発され，1964年にはパテル（Patel）によりCO_2レーザが開発された[1]。1969年レイセオン（Raytheon）社は750feet長さで8.8kWの出力を得た[2]が，1970年代に入るとCO_2，N_2およびHeの混合ガスを高速循環させることにより，長さ1m程度で約500Wの連続出力が得られるようになった。1971年にはA.F.W.研が22kW[3]を，1972年にはユナイテッドエアクラフト（United Aircraft）社が27.2kW[4]を達成し，1976年には米国海軍では実験レベルで100kWの出力が得られている。そして，1977年にはアブコ（AVCO）社から15kW機が販売された。しかし，このような大出力になると光学部品の劣化が問題となり，大出力CO_2レーザに対してはビームの取り出しに透過光学部品を利用しないエアロダイナミックウインドウが開発された。この結果，1986年には15kW機が初めて産業用に導入され，1987年にはフランスのETCA（Etablissement Technique Central de l'Aremement）に22kW機が設置された。その後1989年に25kW機が，ドイツとアメリカに，1991年には日本にも設置され，さらに1994年にはフランスのI.S.（Institut de Soudure）と日本の(財)近畿高エネルギー加工技術研究所に45kW機が導入されている。

以上のようにCO_2レーザは大出力が得られやすく，約10kWクラスまでは産業界で広く使われるようになってきている。また産業界で実用化されているのは25kWまでであり，45kWがやっと研究所に設置され，これから加工技術の研究が初められようとしている。

COによるレーザ発振は，1964年にレギー（Legay）とレギーソメール（Legay-Sommaire）により提唱[5]され，同年パテル（Patel）とカール（Kerl）により低圧COガスの放電励起によるパルス発振が観測された[6]。

これはCO_2レーザの発見と同時期である。1968～1970年になるとオスグッド（Osgood）らにより，ガス冷却によりCOレーザの性能がCO_2レーザのそれに匹敵する程度に向上し，COレーザの大出力・高効率化の可能性が認識された[7][8]。その後高出力動作用としては低温動作の発振器が研究の主流となり，旧ソ連のレベデフ物理学研究所が電子ビーム制御放電方式で10kW[9]を，ドイツ航空宇宙研究所（DLR）が

超音速流RF放電励起方式で出力6kW[10]を得ている。また，国内では三菱重工業と産業創造研究所が共同で横方向自己持続直流（DC）放電励起方式に基づき出力20kW[11]を得ている。

一方，低温冷却を必要としない常温COレーザの研究も並行して進められてきたが，その出力は数十Wにとどまっていた。しかし最近，対流冷却方式とマイクロ波あるいは放電励起を組み合わせることによりデュッセルドルフ大学のアーレンブッシュ（Uhlenbusch）らは400W[12]を，石川島播磨重工業（IHI）では約550W[13]を，産業創造研究所では268W[14]を得ている。

以上のようにCO_2レーザとCOレーザでは20～45kWが連続で発振できる装置が開発されている。

レーザ光を集光するとそのエネルギー密度は10^6W/cm^{2}以上になり，溶接，切断，穴あけ，表面処理等の加工が可能であり，同程度のエネルギー密度を有する電子ビームと比較すると次の特徴がある。

(1) 大気中でも搬送可能であり，減衰もほとんどない。

(2) X線が発生しないので，X線の防御対策が不要。

(3) 磁場による偏向がない。

(4) ミラー，ファイバー等によりレーザ光の搬送が可能であり，タイムシェアリングによる複数の場所での加工が可能。

一方，短所としては次の問題がある。

(1) 材料の種類，表面状態によってレーザ光の吸収率が異なる。

(2) CO_2レーザではレーザ照射によって発生するプラズマにレーザが吸収される。

(3) 効率が悪い。

(4) レーザに対する安全対策が必要。

原子力プラントは安全性確保の観点から，近年ますます高い信頼性が要求されてきており，製造面では要求される品質が高くなってきている。また，原子力プラントは高い放射線環境下にあり，遠隔で加工する技術が望まれている。このような要求にレーザは適合しており，レーザ加工が原子力分野で利用されている。これまでのところ，レーザビームをファイバー伝送できるYAGレーザの実用化例が多いが，次にCO_2レーザおよびCOレーザの例について述べる。

(a) 高速増殖炉燃料集合体の解体[15][16]

1980年にイギリスの高速増殖炉PFR（600MWt）の燃料集合体の解体にCO_2レーザが適用された。燃料集合体は六角管で幅142mm，長さ2.25m，板厚3mmのステンレス又はナイモニックでできており，その中に325個の燃料体が収納されている。この燃料集合体の下端部を切断し，燃料を引き出した後，燃料集合体を切断解体したものである。3mm板厚の切断には600Wのレーザ出力が必要と判断されたため、当時の最大出力である400Wのレーザを２台用いて，これをプリズムで一緒にして切断を行った。この状況を図１に示す。ビームはZnSeの窓をつけた1.8m厚さの穴を通ってから最終的にビームを集光している。ノズル径は1.5mmで焦点距離は102mmとなっている。

レーザ切断はスラグも発生せず，変形もないことからこの適用は大成功であった。

アメリカのオークリッジ国立研究所（Oak Ridge National Laboratory）でもイギリスと同じくレーザ切断の優位性に着目して，高速増殖炉の燃料のレーザ切断を行っている。この状況を図２に示す。六角管の切断板厚は3mmで，9kWのCO_2レーザを用いている。

(b) 原子炉燃料体の修復[17]

高速中性子源炉「弥生」の燃料体は0.7mm厚さのステンレス鋼で被覆されている。その燃料体の側板部に突起状変形が発見され，予防措置として補修する必要が生じた。燃料体は複雑な形状をしているため，新しい上蓋を取付けるのは困難と判断されたため，側板部上蓋さらに盲蓋を溶接する二重掛方式が採用された。

溶接施工法としてはプラズマ溶接，電子ビーム溶接およびレーザ溶接が検討され，ビームの伝送が容易で修復システムの構成が容易なCO_2レーザ溶接が適用された。要求される溶け込みは1.1mm以上で1kW級のCO_2レーザによりホットセル内にビームをミラー伝送し溶接が行われた。

レーザ出力700W，溶接速度は1.2m/min，シングルモードのビームで，雰囲気ガスはポロシティ防止のためにN_2としている。図３に得られた溶け込みのマクロ断面を示す。

(c) PWR型原子力プラント原子炉炉内構造物の溶接[18]

PWR型原子力プラントの炉内構造物は高精度が要求される。これらの構造物は

オーステナイト系ステンレス鋼で製作され，電子ビーム溶接が適用されていた。真空が不要であることから，最近5kWCO_2レーザがこれらの溶接に実用化されている。

(d) BWR用燃料集合体の溶接[19]

BWR型原子力プラント用の燃料集合体の一部にはジルコニウム合金が使用されている。この溶接法としてはTIG溶接が用いられてきた。一方燃料集合体は逐次改良がなされ，出力密度・燃焼度の高度化による経済性の向上等が図られている。最近の燃料の大幅設計変更に対応して製造方法の見直しが行なわれ，溶接部健全性の確保ならびに設備の自動化の観点からCO_2レーザが最適と判断され，2kWCO_2レーザを用いて実用化されている。図４と図５に溶接装置の状況を示す。

(e) 原子炉解体用レーザロボット[20]

C.E.A.（Commissariat à l'Energie Atomic）のサークレ（Saclay）研究所ではレーザを原子炉の解体に適用するためのレーザロボットを開発している。図６に示すように５軸のマニピュレータの節部に８枚のミラーを取付け，レーザビームを伝送している。マニピュレータは全長1.72mで精度は±0.35mm。CO_2レーザは最大2kWで870kWを伝送している。パイプ，鋼板の切断を実施した。

(f) 原子炉解体のためのレーザ切断研究[21][22]

原子炉容器の炉内構造物はステンレス鋼でできており，寿命末期には高いレベルに放射化されている。炉内構造物の板厚はほとんどが50～100mmであるが，PWR型プラントの最大切断板厚は305mmあり，遠隔操作で切断する必要がある。(財)原子力発電技術機構（原機構）は通産省の委託により商業用炉の原子炉炉内構造物の切断に対してCOレーザに着目して適用性を研究している。

20kW級COレーザを用いてPWR炉内構造物模擬試験体を気中ならびに水中で切断している。

C.E.A.サークレ研究所においても図７に示すような装置で5kWCO_2レーザを用いて水中切断の研究を行っている。

2. 日本の現状

1994年10月にフランスのリヨンで開催された国際原子力展示会（International Nuclear Congress + World Exhibition Atoms for Energy）において，原機構から21kWCOレーザによる305mm厚のステンレス鋼の気中切断ならびに150mm厚のステンレス鋼の水中切断成果が報告された。

IHIからは兵庫県の西播磨テクノポリスに建設されている大型放射光施設（Spring-8）のAl合金製チェンバーの溶接にCO_2レーザを使ったことが報告されている[23]。

そして，レーザ熱加工研究会では次のような報告がされている[23][24]。

三菱電機から高出力CO_2レーザ用高集束光共振器の開発，三菱重工業からはエキシマ併用CO_2レーザ切断法の開発，神戸製鋼所からはAl合金のレーザ溶接部の機械的性質，田中製作所からは酸素純度の切断特性に及ぼす影響，川崎重工からも軟鋼中厚板厚の切断の研究が報告されている。

実用化例としては三菱自動車とブラザー工業からレーザ焼入れが，日本軽金属からアルマイト用レーザラッキング装置が報告されている。

また溶接学会全国大会では次の研究報告がされている[25][26]。

大出力CO_2レーザ溶接では溶接時に発生するプラズマが問題となるため，住友金属と三菱重工業は（10～25）kWCO_2レーザにおける溶接性を研究している。

川崎製鉄ではレーザ溶接継手の成形性を，住友金属ではレーザ溶接部の硬度特性を，NKKでは薄鋼板のレーザ溶接部硬さと組成の関係を神戸製鋼所では鉄粉焼結材のレーザ溶接を研究している。

さらにCO_2レーザによるAl合金の溶接研究が盛んで，日立製作所，神戸製鋼所，IHI，島津製作所および大阪大学等で研究されている。

レーザ表面溶融による耐食性の改善が，大阪大学と日立製作所で行われている。

「参考文献」

1) C.K.N. Patel : Continuous - wave Laser Action on Vibrational - rotation Transition of CO_2, Phys. Rev. Lett., 336 A, 30: 1187, 1964.

2) F. Horrigan et al. : Windows for High - power Lasers, Micro Wave, 8 : 68, 1969.

3) A.E. Hill : Uniform Electrical Excitation of Large Volume High Pressure Near Sonic CO_2 - N_2 - He Flow Stream. Appl. Phys. Lett., 18 : 194, 197.

4) C.O. Brown et al. : Closed Cycle Performance of a High Power Electrical Discharge Laser, Appl. Phys. Lett., 21 : 480, 1972.

5) François Legay and Nicole Legay - Sommaire, Sur les Possibilités de Réalisation d'un Maser Optique Utilisant l'Énergie de Vibration des Gaz Excités par l'Azote Activé, Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, Tome 259, No.1, p.99 - 102 (1964).

6) C.K.N. Patel and R.J.Kerl, Laser Oscillation on $X^1\Sigma^+$ Vibrational - Rotational Transitions of CO, Applied Physics Letters, Vol.5, No.4, p.81 - 83 (1964).

7) R.M. Osgood, Jr. and W.C. Eppers, Jr., High - Power CO - N_2 - He Laser, Applied Physics Letters, Vol.13, No.12, p.409 - 411 (1968).

8) R.M. Osgood, Jr., William C. Eppers, Jr. and E.R. Nihols, An Investigation of the High - Power CO laser, IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol, QE - 6, No.3, p.145 - 154 (1970).

9) A.P. Averin et al., Sov. J Quantum Electron. 13, 1391 (1983).

10) H. von Bulow and M. Schellhorn, Appl. Phys. Lett. 63, 287 (1993).

11) 栗林，佐藤他，レーザ研究　22, 30 (1994).

12) X. Luo et al., Opt. Commun. 102, 65 (1993).

13) 上原他，レーザ学会研究会報告（大阪，1993年12月），19.

14) K. Shimisu and S. Sato, Jpn. J. Appl. Phys. 33, L180 (1940).

15) P.R. Higginson, D.A. Chmpbell : Laser cutting equipment for dismantling irradiated PFR fuel sub - assemblies, Proceeding BNES conf. mai 80 P.1 - 6

16) B.S. Weil : A laser cutting system for nuclear fule disassenbly, Proceeding ICALEO' 85 P.145 - 152

17) 柳秀治他：炭酸ガスレーザ溶接による原子燃料体の修復に関する研究，東京大学工学部紀要A, No.23 (S60)

18) 正野進，レーザ・電子ビーム溶接の大型構造物への展開，溶接学会誌，vol.60, (1991) No.1

19) 黒沢哲他，原子力発電用燃料体のレーザ溶接について，第26回レーザ熱加工研究会論文集（平成３年７月）

20) Noel J.P. et al., Robot Polyarticule avec Faiscesu Laser Integre, 1989 International Conference on the Decommissioing of Nuclear Intallations

21) Gata TAKANO et al, Local Drying Underwater Cutting of Reactor Core Interals by CO Laser, The 1st JSME/ASME Joint International Confernece on Nuclear Engineering (1991)

22) J.P. Alfille, Decoupe Laser Sous Eau de Structures Metalliques, 5ème C.I.S.F.F.EL (1993), Tomel, 179 ~ 186

23) 第31回熱加工研究会論文集（平成６年２月）

24) レーザ熱加工研究会誌　Vol. No.1, 1994

25) 溶接学会全国大会講演概要　第54集（平成６年３月）

26) 溶接学会全国大会講演概要　第55集（平成６年９月）

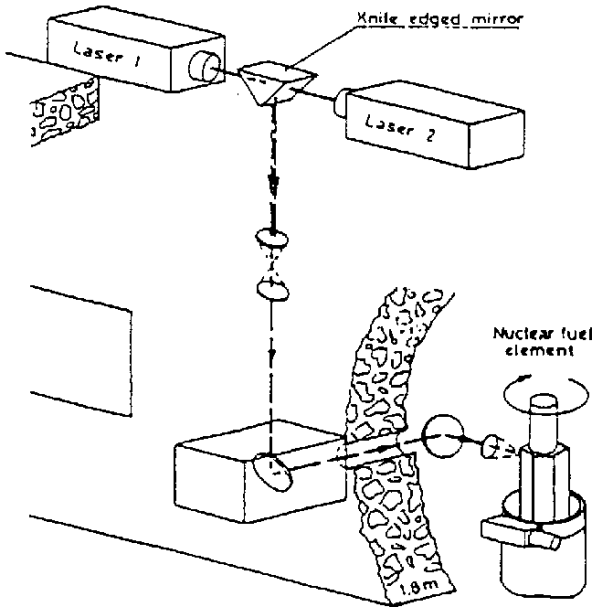


図1　OPTICAL SYSTEM USED AT THE P.F.R. CAVE. (GB)[15]

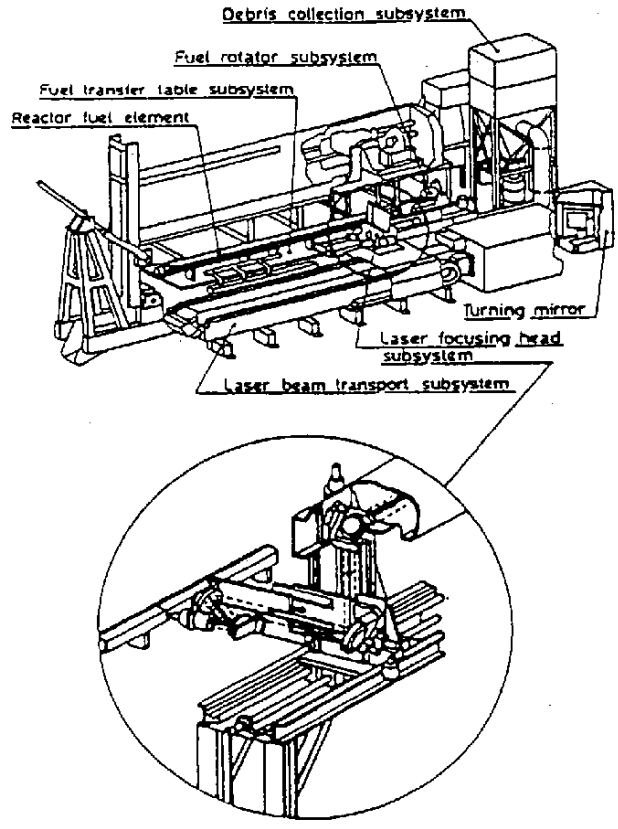


図2　LASER CUTTING SYSTEM INTEGRATED WITH THE DISASSENBLY SYSTEM[6]

図3　TYPICAL WELD MICROSTRUCTURE OF TRANSVERSE SECTION. (1mm^{t}-2mm^{t}(0.2)Fraucet joint)[17]

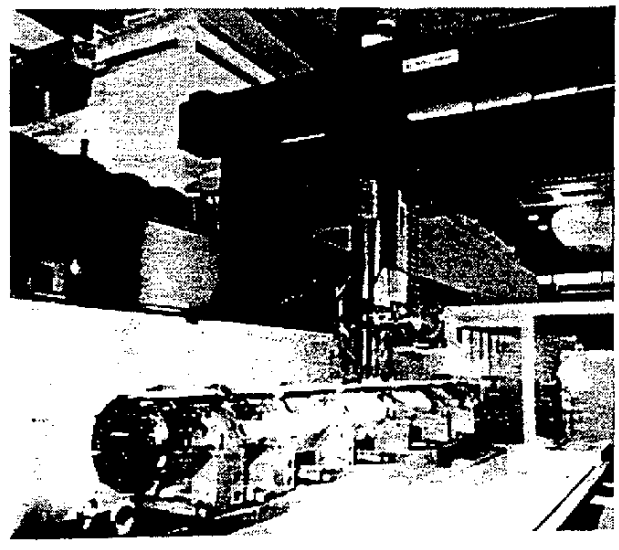


図4　炉内構造物のCO_2レーザ溶接状況[18]

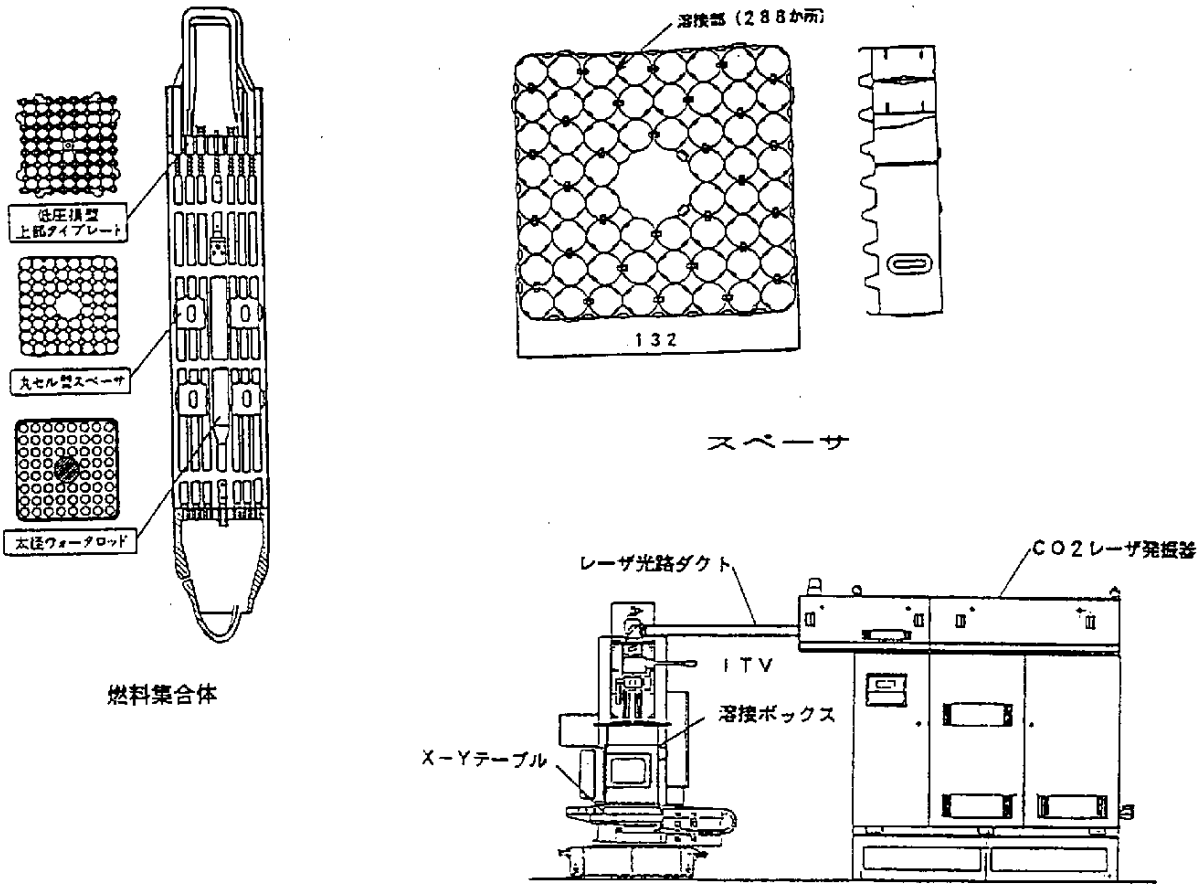
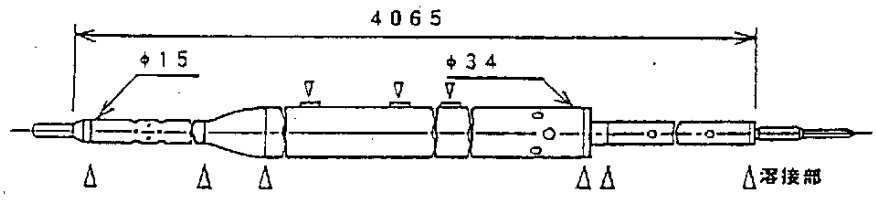


図5　スペーサレーザ溶接装置[19]



ウォータロッド

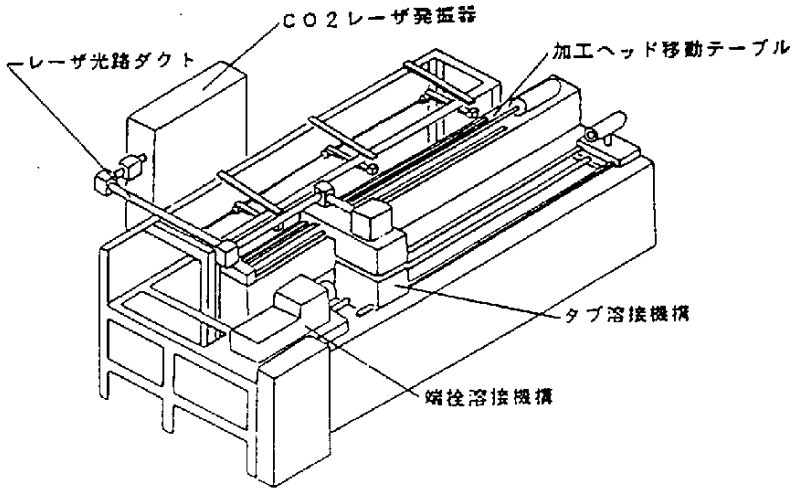


図6　ウォータロッドレーザ溶接装置[9]

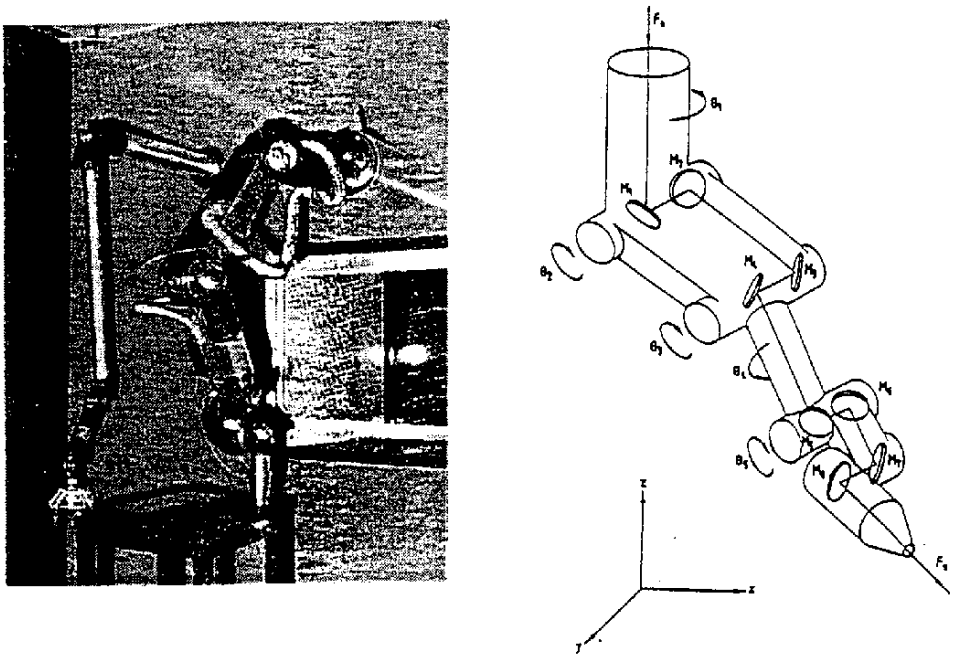


図 7　Chaîn cinématique du robot Rold[20)]

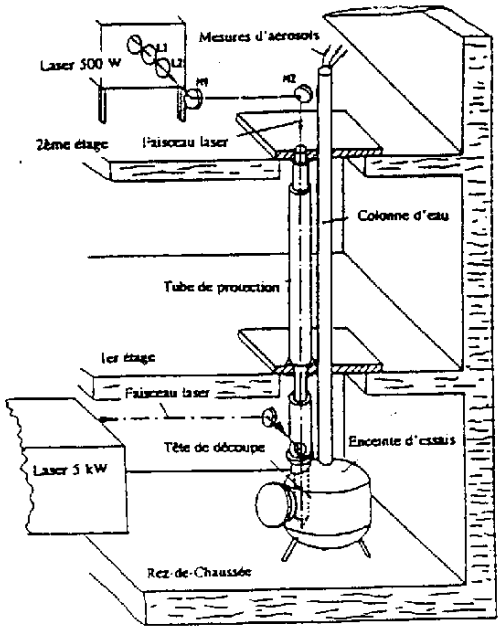


図 8　Situation des lasers 500W et 5kW[22)]

1．全般

1．1　化学レーザーの種類と特徴

化学レーザー（ＣＬ，Chemical Laser）は、化学薬品を混合しその時のガス化学反応を利用してレージング化学種を上位準位に励起して反転分布を作り、レーザー光として取り出す方式並びに装置の総称である。化学反応そのもので逆転分布を作る事がその特徴であり、その生成機構から見て次の二つに大別できる。その一つは化学反応が逆転分布の生成に直接寄与する直接型で、ＨＦレーザーとＤＦレーザーとがその代表例である。もう一つは生成機構は、化学励起酸素ヨウ素レーザー（ＣＯＩＬ，Chemical Oxygen Iodine Laser）に代表されるエネルギー移剰型である。　直接型と同じ様な方法で或る励起状態の化学種を化学反応で作り、しかる後にそのエネルギーを全く別の化学種に移剰してその化学種に反転分布を作らせる方式である。化学励起によって得られた振動励起状態のＤＦ（またはＨＦ）分子からのエネルギー移剰に依ってＣＯ$_2$分子に反転分布を作らせ、10.6μm レーザーを発振させる所謂，ＤＦ（ＨＦ）励起ＣＯ$_2$レーザーも、エネルギー移剰型のＣＬに属すると言える。

ＣＬはガス化学反応を利用しているので、基本的には大型電源を必要とせず効率も大きく、燃料流量を増やせばほぼ比例的に出力の向上が期待できるので高出力化が比較的容易であると云う大きな特徴がある。　これらの特長は、脅威目標（敵のミサイル，航空機など）の上に強い光照射（高輝度照射）が求められるレーザー兵器（ＬＷ，Laser Weapon）システムに最適であると言える。このため、日本を除く諸外国でのＣＬ研究は、従来はその殆どが軍事への応用開発を目指した研究即ち高輝度を指向した研究であった。　この結果、高出力化に関する研究は早いテンポで進み、米国では既に可なり早い時点で高出力発振に成功しており、ＣＯＩＬ（発振主波長：1.315 μm ）で39kW[1]，ＤＦレーザー（主波長長：3.8 μm ）に到っては2.2 MW[2] の発振出力が得られている。

目標上で高い輝度を得る為には、大きな発振出力が得られる事のほかに、目標上への集光性が良い事と伝播損失が少ない事も重要な要素となる。　大気中での伝播損失は、気象条件によって変わるがレーザー波長に大きく依存する。　集光性は波長の短いレーザー程有利である。　短波長レーザーには、その上、波長の短いレーザー程金属との相互作用（金属へのレーザー吸収）が強くなると云う利点もある。ＤＦ，ＨＦレーザー及びＣＯＩＬ

の代表的発振波長は、それぞれ3.8 μm [2], 2.7μm[3] 及び1.315 μm[1] 波長で、いづれも赤外領域にある。 従って、大気伝播特性を一応考慮から外し考えると、ミサイル等の敵の高速飛翔体のハードキルを目的とする高エネルギーレーザー(HEL,High Energy Laser) 兵器としては、これらのＣＬの中では波長の最も短いＣＯＩＬが最も評価できるレーザーであると言える。 一方、一般的で良く知られているCO_2 レーザー (10.6μm 波長) と比較したときの大気伝播特性は、ＣＯＩＬがCO_2 レーザーとほぼ同程度[4] であり、ＤＦＣＬはこれより優れ[2]、ＨＦＣＬは水蒸気の光吸収による減衰が大きいためＣＯＩＬ. CO_2 レーザーよりも遙かに劣る[3]。

可視波長帯域では、赤外波長帯域で見られたこの様な光の伝播損失 (H_2O , CO_2 などの気体分子による光吸収等) の問題は大幅に軽減される[5]。 従って、これらの赤外レーザーよりも波長が短い可視波長帯域での化学レーザーの発振は、高輝度を得る為にも極めて興味ある問題であり、短波長化学レーザーの発見に向けて探索研究努力が、米国では1970年代から続けられているが、成功の兆しが見え始めたのは最近の事である[6] [7]。 化学反応でGeO * からTl原子へのエネルギー移乗 (λ＝535nm), SeO * →Na (λ＝535nm), NF_3 の熱衝撃解離によるNF* →BiF (λ＝470nm)等がその例であるが、何れも研究の初期段階に留まっている。

高出力短波長レーザー発振の一つの手段として、非線型光学結晶を使って波長変換を行い、高出力ＣＬから高調波の高出力可視レーザーの発振実験に就いては、既に適用が試みられ、報告[5] もある。 上記各種ＣＬに於ける発振波長の違いによる特性の上での大きな違いは、光ファイバーの導光特性である。ＣＯＩＬは石英系のガラスファイバーで非常に効率良く伝送できるが、その他の波長のＣＬでは、伝送可能なファイバーガラスが全く無い (DFCL) か又は、弗化物ガラスとか或いはカルコゲナイドガラスなどの様な特定のガラスファイバーに限定され、しかも伝送特性は余り良くない。

ＣＯＩＬは化学レーザーの中で一番波長の短いレーザーであると云う特長のほかに、ＣＯＩＬのこの優れた光ファイバー導光特性は、ＣＯＩＬが単に軍事用のレーザー兵器としてだけではなく、産業用のレーザー加工機としても将来の有望なレーザーであると見る事ができる。 事実、長時間安定に連続運転可能な出力１kwのＣＯＩＬ発振装置と石英光ファイバー導光装置とから成るヨウ素レーザ加工装置が、世界で初めて産業用のＣＯＩＬ装置として１９９２年に日本で開発・実用化され、ファイバー導光による厚板鋼材のレーザー切断実験等の結果からその有望性を窺う事ができる。

ＤＦ（ＨＦ）励起CO_2レーザーは、放電励起CO_2レーザー等に比べ効率良く高出力得られる利点があり、雲，霧の中に高エネルギーパルスレーザーを打ち込み、光通路を切り開く応用等が考えられている。

2．化学励起酸素ヨウ素レーザ（ＣＯＩＬ）

2．1　ＣＯＩＬの概要

2．1．1　ＣＯＩＬの種類と構成概要

ヨウ素レーザーは、Ｉ原子の励起状態の$5I^2P_{1/2}$電子準位（Ｉ＊）から基底状態の$5I^2P_{3/2}$電子準位（Ｉ）への磁気双極子遷移の誘導放出に伴って放出される１．３１５μm波長の赤外レーザーである。Ｉ→Ｉ＊へのポンピングには放電励起或いは光励起による方式もあるが、これらの方式に依る発振方式は化学レーザーとは言わず、一重項励起酸素$O_2(^1\Delta g)$（O_2＊と略記）からのエネルギー移剰による励起方式による発振方式のみが化学レーザーに属する。O_2＊の発生方法には、酸素の放電励起に依る方法、オゾンの光解離による方法などもあるが、アルカリ過酸化水素溶液(BHP,Basic Hydrogen Peroxide)と塩素ガスとの化学反応による方法が今日では一般的である。　従って所謂ＣＯＩＬと云えば、普通特に断らない限り、この方式に依って発生させたO_2＊を利用するエネルギー移剰型のＣＬのことを指す見られている。　ヨウ素化学レーザーは、一般に、励起酸素発生装置（SOG,Siglet Oxygen Generator)で発生させたO_2＊とヨウ素気化器で発生した少量のI_2蒸気分子とを共振器室に送り込んで混合すると、I_2分子はO_2＊分子と反応してＩ原子に解離し、このＩ原子は残りのO_2＊分子との反応によって励起状態のＩ＊となる。SOG 内でのO_2＊発生には、必然的に、BHP 液からの水蒸気の発生がこれに伴い、O_2＊ガス流へのH_2O の混入は避けられない。この含有不純物水蒸気は、共振器室内で生成されたＩ＊を失活させ、レーザーの発振効率を低下させる大きな要因となる。従って、SOG から共振器室へのO_2＊の輸送過程の適当な位置に、水蒸気トラップを設けて出来る限り除去する手段を講じる必要がある。

ＣＯＩＬには、レーザー媒質流れに亜音速流を使う方式と超音速流を使う方式とがあるが、超音速ノズルを除けば、基本的にはほぼ同じ構成であり、一般に次のような主要構成から成り立っている。

（１）SOG　：BHP液とCl_2とを反応させてO_2＊を発生する装置

（２）水蒸気トラップ（WVT,Water Vapour Trap）：O_2＊ガス流から水蒸気などの有

害な不純物気体を凝結除去する装置

（３）ヨウ素気化器　：原料の固体状ヨウ素を気化してI_2分子を発生させる装置

（４）共振器室　：SOG から供給された$O_2{}^*$とヨウ素気化器から供給されたI_2蒸気とを混合させて、ガス化学反応によって、I_2分子をI 原子に解離させると共に、IのI* へのポンピングを行わせるキヤビティ

（６）ヨウ素インジェクター（亜音速ＣＯＩＬ）又は超音速ノズル（超音速ＣＯＩＬ）

（７）ガス排気装置

２．２．世界の現状

２．２．１　ＣＯＩＬ装置

ＣＯＩＬは、1978年に米空軍兵器研究所（AFWL.Air Force Weapons Laboratory，現在のフイリップス研究所）で初めて実現されたもので、以後、米国では、同研究所を中心にTRW 社，ロックウエル社，マクドネル・ダグラス社などで亜音速ＣＯＩＬによる基礎研究，装置開発がすすめられ、1984年に1.6kw(AFWL)，4.2kw(TRW)の発振出力が得られている[1]。　その後AFWL は、（ア）装置の小型化、（イ）キャビティの動作温度を下げ装置効率上げる（ウ）利得領域を引き延ばして、ビームの質を劣化原因となる密度勾配の減少を図る、等を目的として、超音速ＣＯＩＬ開発に移行し1987年には25kwの発振に成功した。その後も性能改善に務め、現在迄に得られている最大出力は39kw(1989 年）である[1]。

表１にフイリップス研究所の超音速ＣＯＩＬの主要性能緒元[1]を示しておく。

SOG	：	回転ディスク型SOG， 励起率；(40～60) %．　未反応Cl_2 量；10 % SOG 内圧力 (40～60)Toor，　He/Cl_2 =3 ～4
WVT	：	冷却フィン型
超音速ノズル	：	スリット型ノズル、
共振室	：	流速2 マッハ、ガス温度150k
Cl_2 流量	：	1.8 mol/s
化学効率	：	0.24
cw発振時間	：	数秒～数十秒（１分を超える事は無い）

米空軍では、この超音速ＣＯＩＬ技術をベースにして、デザートフラッシュ計画[8]と呼ばれる、航空機搭載対ミサイルレーザー兵器システムの可能性の実証研究に着手[9]している

亜音速ＣＯＩＬについては、日本の現状の節で述べる。

２．２．２　cwＣＯＩＬのパルス化技術

レーザー加工分野でＣＯＩＬは極めて期待の大きいレーザーであるが、COILは本来cwで動作するレーザである。しかし材料の種類或いは加工目的によっては、寧ろパルス巾が（μs ～ms）の連続パルスの方が好都合な場合が多く、パルス化技術にはかなり前から関心が持たれていた。初期段階では機械的Ｑスイッチ法によるパルス化実験（慶応大内山ら）[10] が試みられていた。　その後ＡＦＷＬのヘイガーら(1990 年）は、超微細構造ゼーマン分裂によって基底状態のヨウ素原子の1.315 μm 吸収係数が印加磁場の増加と共単調に急激に減少する挙動に着目し、「熱解離ヨウ素原子吸収セル」をスイッチング素子とするパルス化実験を行った[11] 。その後チエコ物理研究所のシュミードバーガらは、キャビティの上下から活性媒質流れに直接磁場を掛けて利得を制御する「磁気利得変調」方式[12] を考案(1992 年）した。その後のパルス化技術は、ヘイガーらのフイリップス研究所或いは慶応大も含めてこの方式が基本となっている。　代表例として、超音速ＣＯＩＬを使って得られているフイリップス研究所の主要成果[13] を掲げておく。

偏光方向	：S偏光制御	ピークパワー	：37954 W
cwパワー	： 2988	平均パワー	： 5643 W
印加磁場	： 455	パルスエネルギー	： 0.20 J
	π遷移	エンハンスメント	： 12.7
繰り返し周波数	： 500 Hz	パルス巾	： 35.5 μs
		ピーク巾	： 1.85 μs

２．２．２　cwＣＯＩＬの波長変換技術

非線型光学結晶を使った波長変換技術の研究が、米国，ロシア，日本等で行われているおり、米空軍フイリップス研究所では、変換素子にヨウ素酸リチュウム結晶（$LiIO_3$)を使い、cw出力10kwの超音速ＣＯＩＬから出力(650～700)w の第二高調波（変換効率5 ～10%）を得ている(1989)[5]。　この実験では素子を共振器キャビティ外にセットしたものであり、キャビティ内セットにより20% の変換効率が得られるものと期待している。　ロシアでは、光解離パルスＣＯＩＬによる波長変換実験が行われており、この場合もほぼ同程度の8% の変換効率（$LiIO_3$ 結晶）が得られている[14] 。7%の内部損失を1%に低減する事により70% の変換効率が可能と予測している。

Cr^{+3}には赤色波長帯域にブロードな吸収線があるので、ＣＯＩＬの 2倍波を、Cr^{+3}をドープしたある種の固体結晶（例えば $KZnF_3:Cr^{+3}$）のポンピングに利用したＣＯＩＬと固体レーザーとのハイブリッドレーザーが考えられ、ロシアで研究が進められている[14]。

2．3　データベースから見た日本のＣＯＩＬの現状

2．3．1　産業用亜音速ＣＯＩＬレーザー加工装置

日本に於けるＣＯＩＬ研究・開発は、慶応大学理工学部の藤岡らによる1980年頃の研究から始まり、その主体は諸外国とは異なり当初から産業用を指向したものであった。　これらの成果は、世界初の産業用のレーザー加工装置として川崎重工業（株）（ＫＨＩ）に依って実現され、1992年に第一号機が（株）レーザー応用工学センター（長岡市）にされた。この加工装置は次の様な特徴と性能を持つものシステムである[15]。

（ア）特徴（方式）

ＳＯＧ	；バブラ型，燃料循環式
ＷＶＴ	；回転ディスク式
ヨウ素気化器	；ハロゲンランプ加熱式
出力制御	；キャビティ内圧力制御

（イ）主要性能

レーザー出力	；cw 1 KW
出力安定度	；±3 %
化学効率	； 30 %

本装置はコア径0.3 ㍉の石英光ファイバーで出力伝送が可能であり、5 ㍉厚さのステンレスが2 m/min の速度で切断加工できるという実験結果が得られている。

2．3．2　超音速ＣＯＩＬ

ＫＨＩでは、亜音速加工装置の実績をベースに、高効率でコンパクトな産業用の高出力超音速装置の開発研究が行われている。　ジェット式ＳＯＧによる実験で、30Torr圧で60 % の励起率が得られており、希釈ガスにHeを使った基礎実験では数百ﾜｯﾄの発振出力が得られている[15]。

2．3．3　その他の研究

（１）cwCOILのパルス化技術

慶応大学理学部の内山らは、ヘルムホルツコイル使った磁気利得変調法によって、偏光成分をＳ成分方向に制御した出力 7ﾜｯﾄcw（　亜音速ＣＯＩＬ）でパワーエンハンスメント10を得ている[15]。

（２）波長変換技術

慶応大内山らは第二高調波発振実験も行っており、1990年に80mWを、その後１ｷﾛのＬＢＯ結晶を使って12.4W の第二高調波出力を得ている[15]。

（3）その他

上記(1),(2) 以外の最近の主な研究を列挙すれば、次の様なものが挙げられよう。 先ず超音速流れに関係する研究では、ＫＨＩと長岡科学技術大学の増田らのグループによる、ディフューザーによる圧力回復問題とか超音速流に於けるヨウ素の混合問題等に関する理論或いは実験研究がある。 その他の基礎研究としては、多孔質パイプ高圧パルスＳＯＧによるO_2^*発生並びにパルスレーザーに関する諸研究（慶応大内山ら）、金属表面によるO_2^*の失活に関する実験研究（通産省機械技術研究所の高橋ら）、ダイオードレーザーをプローブレーザーとして使った小信号利得の新しい計測法（慶応大水戸ら）等がある。

3．HF（DF）レーザー及びHF（DF）励起CO_2レーザー

3．1 レーザーの概要

3．1．1 種類と構成概要

（1）HFレーザー

HFレーザーでは、次の連鎖反応に依ってレーザー準位への励起が起こる。

点火 ： $F_2 \rightarrow 2F$

連鎖反応 ： $F + H_2 \rightarrow HF^* + H$

$H + F_2 \rightarrow HF^* + F$

HF^* ：振動・回転準位がレーザー準位に励起された励起状態のHF分子

典型的点火方式には燃焼型，光点火及び電子線点火の諸方式があり、各々超音速ｃｗ高出力（燃焼型），長パルス（光点火）及び短パルス（電子線点火）に好適であるとされている。燃料類としては、燃料にH_2，C_2H_4，N_2H_4，D_2等、酸化剤にF_2，SF_6，SF_3等、又希釈ガスにはN_2，O_2，He 等が使われる。 ＣＯＩＬの場合と同様に亜音速レーザー方式と超音速レーザー方式とがあるが高出力ＣＬでは超音速レーザー方式が一般的である。

（2）ＤＦレーザー

ＤＦレーザーは、燃料にＨＦレーザーのH_2の代わりにその同位体元素である重水素を用いたＣＬである。H_2とD_2とは同位体元素である為化学的には等価でレーザー準位への化学励起反応は上のＨＦレーザーの連鎖反応と同じ反応過程で起こる。点火方式、混合方式等の分類もＨＦレーザーと同様である。

3．2．世界の現状

3．2．1　高出力ＤＦレーザー装置

既にMW級の高出力発振が実証されているこれらのレーザーは、敵ミサイルを発射段階から撃墜出来る可能性を持つ要撃兵器として米国を始め諸外国でその開発に力を入れている。米海軍では、通称中赤外先進化学レーザー（ＭＩＲＡＣＬ，Mid-Infrared Advansed Chemical Laser）と呼ばれている発振出力2.2 MWのＤＦレーザーを1980年代初期に既に開発しており、1989年 2月には低空超音速飛翔中のバンダル・ターゲットドロン撃墜実験に成功している。海軍は、このＤＦレーザーを、海面すれすれの低高度で侵入して来るミサイルの要撃に極めて効果的であると見て艦艇搭載の高エネルギーレーザー兵器（ＨＥＬＷ）システム計画をもっている。　このＨＥＬＷシステムは艦搭の5 〆砲と同等のスペース内に納まり重量は15 %軽減出来ると見積もっており[2]、1995会計年度から試作予定となっている様である[2]。

3．2．2　高出力ＨＦレーザー装置

米国ＳＤＩＯでは、宇宙設置の対ミサイルＨＥＬＷシステム候補としてＨＦレーザーを考えて、アルファ計画（Alpha Program ）の基に 2MWの地上実証試験計画を持っている。1992年11月のレーザー発振試験では、計画出力には到らず4 秒発振におけるレーザー出力はMW程度（恐らく1.3 MW）の成績であった[3]。

空軍の航空機搭載実験計画では、ＨＦ，ＤＦの第二高調波も候補に入っている様であるが出力その他の具体的計画は不明である。

3．2．3　ＤＦ励起CO_2 レーザー装置

米国のロス・アラモス国立研究所では、従来、電子ビーム点火ＤＦ- CO_2 レーザーに依って、パルス幅（30～100）μs．　特性出力30J/ℓのレーザー(1990)[16] を、また最近（1993）[17] では、10ℓの沿面放電励起ＤＦ- CO_2 レーザーで 241J の出力エネルギー（同一条件でのＤＦレーザー出力；160J）を得ている。

3．2．4　高調波換発生技術

ＨＦレーザーに於いて利得の高い基本遷移$\Delta V = 1$ 遷移を抑圧し、$\Delta V = 2$ 遷移を促進させれば、効率良く二倍波を発振させるれば事が出来る[6, 18, 19]。その手段として、共振鏡の反射率を、二倍波の波長帯域では高反射率を持たし、基本波の波長帯域では低反射率を持たせる方法がある[6, 18]　。　市販の25W の多波長発振(2.6～3.3 μm ）ＨＦレーザーで約15W の(1.3～1.4 μm ）の二倍波の発振が出来る[6]。　ＤＦレーザーはＨＦレーザー

に比べて利得が低いので此の方法での二倍波の発振は困難である[6]。米陸軍ミサイルコマンドでは、ＨＦ（ＤＦ）レーザーの二次ノズルに極超音速低温（HYLTE:Hypersonic,Low-Temperature)ノズルを使用する研究が進んでおり、利得長40㌢のHYLTE ノズルで出力1.1 kw, 二倍波- 基本波の相対性能0.60が得られている。ノズル形状の最適化が進めば、(20～30)kw 基本波出力のレーザーで(10 ～15) kwの第二高調波出力が得られると推定されている[18]。

3．3　データベースから見た日本の現状

3．3．1　ＨＦ（ＤＦ）及びＨＦ（ＤＦ）- CO_2 レーザー

高出力発振に関する研究は、1980年度の初期の一時期、防衛庁技術研究本部を中心に研究が行われていたが、最近では全く行われていない。　当時に於けるｃｗＨＦレーザー(N_2, SF_6, H_2 系）発振出力は、出力約200W, 比出力約30J/g/s 程度であったと思われる。

λ＝2.7 μm 波長帯は組織切開等の医療応用に有望な波長である為、慶応大学理工学部の小原ら[20] は、コア直径450 μm の弗化物ガラスファイバーを使い、非連鎖ＨＦレーザーのファイバー伝送に関する研究を行った（1992）。　39.7mJの入射パルス（パルス幅540ns)のファイバー出力端での伝送エネルギーは19mJで、結合効率は50% と低い結果であった。

又、彼らは、$F_2/H_2/$ He ＝10/4/786Torr混合ガスから、非線型結晶を使わず誘導放出過程を直接制御する方法で、2.73 J/ℓの高調波エネルギーが得られる推算している(1992)

化学レーザー　引用文献リスト

1） K.A. Truesdell et al. ,「COIL DEVELOPMENT IN THE USA」, AIAA 94-2421 (1994)

2） DAVID M FERREIRA et al. ,「Navy High Energy Laser Weapon System」,Naval Engineers J. ,May(1993) p105

3） Anthony Cordi et al. ,「Alpha high power chemical laser program」, SPIE1871 Intense Laser Beams and Applications ,110(1993)

4） W.L. Bohn ,「COIL Actibities in Germany」, AIAA 94-2417 (1994)

5） WASHINGTON .「USAF Demonstrates Technique For Brighter Laser Beam」, AVIATION WEEK & SPACE TECHNOLOGY,May 15(1989) p58

6) Jeff Hecht edit. , 「Chemical lasers offer infrared power and tunability 」, LASER FOCUS WORLD , Dec. (1993), p91

7) K.K. Shen et al. , 「Visivle Chemical lasers from Alkali Based Elecronic Invesersions 」, SPIE1871 Intense Laser Beams and Applications , 18(1993)

8)「スカッド防衛に航空機搭載式レーザー使用を検討」、軍事研究 1992 年 9月号、p143

9) 「海外情報; 米空軍、機上レーザーによるミサイル迎撃システムの実証を発注」、Plus E. 1995年2 月号, p116

10) Noriaki Miura, et al. 「Magnetic gain switching operation of Chemical Oxygen Iodine Laser 」, SPIE Vol.1980 Iodine laser and Applications(1992) 、p186

11) R. Highland et al. 「A 630 watt average power Q-switched chemical oxygen-Iodine Laser 」, SPIE Vol.1225 , High-Power Gas Lasers. 512(1990)

12) J. Schmiedberger et al. 「Magmetic Modulation of Gain in a Chemical Oxygen-Iodine laser」, IEEE J.Quantum Electron., 27 [6], 1262(1991)

13) G.D.Hager et al. 「THE Repetitivly Pulsed Chemical Oxygen Iodine laser」, AIAA 94-2455 (1994)

14) P.G. Kryukovl , 「COIL Study in Russia」, AIAA 94-2420 (1994)

15) Hiroo Fujii et al. , 「COIL Development in Japan 」, AIAA 94-2419 (1994)

16) 神成文雄、「CLEO '90報告」、レーザー技術研究会、海外レーザー動向 5 [1] 、平成2 年5 月、p1

17) 関田仁司、「CLEO/QELS '93 報告Ⅱ」、レーザー研究 、平成5 年7 月号、p58

18) William A. et al. 「Gain generator optimization for hydrogen fluoride over-tone and fundamental chemical lasers 」, SPIE1871 Intense Laser Beams and Applications , 123(1993)

19) William A. et al. 「Overtone reserch, advernced chemical laser module design 」, SPIE2199 , 47(1993)

20) T. Sumiyoshi et al. 「 High-performance pulsed HF chemical laser」, SPIE1810 240(1992)

1．1．4アイセーフ固体レーザー（Er,Tm,Ho 等）

1． 世界の現状

2μm帯のレーザーは、いわゆるアイセーフ波長域にあり、かつ大気中の伝搬特性に優れているためコヒーレントライダーの光源として注目されている。波長1.94μm、および3μmのレーザーは、新しい医療用レーザーとしても注目されている。特に、波長3μmでは、水の吸収長が0.75μmと小さく、かつ骨細胞との相互作用が強いため、レーザーメスへの応用が期待される。

LD励起で高出力を達成するには、蛍光寿命が長く、誘導放出断面積の大きな材料が望まれる。Tm（ツリウム）を活性媒質とすると、$^3H_4$…$^3H_5$の遷移で発振する。Tm:YAG は、上準位寿命がミリ秒と長く、2.014μmで発振し、４２％のスロープ効率が達成されている(1)。Yb(イッテルビウム):YAG の$^2F_{5/2}$…$^2F_{7/2}$ではスロープ効率２５％が達成できている(2)。このレーザーは968nmのLDで励起でき、発振波長は1.03μmである。6.5%YbドープYAGは、1.16ms の自然放出寿命をもち、誘導放出断面積は1.8×10^{-20} cm^2 である(3)(4)。これは、LD励起レーザー材料として有望であろう。現在の最高出力５０mJが，940nmの横方向LD励起で得られている(5)。1msのパルス励起で、40Hz以上の繰り返し動作が室温で達成されている。さらに、CW励起で1.015…1.06μmの範囲で波長選択できている(6)。

Tm（ツリウム），Ho（ホルミウム）複合ドープのレーザーは Tm のクロス緩和を利用できるため、Hoの遷移で、高いスロープ効率が実現できる。Tm,Ho:YAG レーザーで７５％のスロープ効率が実現されている(7)。マイクロチップレーザーで、６８％のスロープ効率が単一波長の10mW の出力で、－１５Cの動作温度で達成されている(8)。母材とし

ては、YLF結晶も用いられている。Tm,,Ho 複合ドープAZF (Aluminum-Zirco-Fluoride)ガラスも作製されている(9)。

長波長レーザーとしては、1.73μm のEr（エルビウム）:YLFレーザー励起で、Dy:YLFレーザーが3.43μmで発振している。

新しい固体レーザーとしては、Nd:KGd$(WO_4)_2$が登場した。フラッシュランプ励起で、400mJの出力が4％の効率で得られている(10)。この結晶のラマン断面積が大きいので、1.18, 1.32μm のストークス光も発生できる。Nd:$LaSc_3(BO_3)_4$は、自然放出寿命が120μsで、励起吸収は808nmでYAGの4倍の吸収係数をもつ。860μmの長さの結晶をLDで励起すると、波長1.063μmのCW出力740mWがスロープ効率70%で得られている(11)。

Tmドープでは、YAG, ガラス, YLF, YAlO, LaF_3, BaY_2F_8, YSGG, GSGG, $KCaF_3$, $La_2Be_2O_5$, YVO_4, BaYYbF8 などの母材が用いられてきた(12)。 Ho ドープでは、YAG, YLF, YAlO LaF_3, BaY_2F_3, $KCaF_3$, $La_2Be_2O_5$ などの母材が用いられてきた(12)。Er(エルビウム)ドープでは、YAG, ガラス, YLF, YAlO, BaY_2F_8, $KCaF_3$, $La_2Be_2O_5$, GSGG, などが用いられてきた(12)。

2. 日本の現状

国内で発表された主なHo, Tm, Erの母材としては、次のようなものである。Hoでは、YAG, ガラス、YVO_4である。TmではYAG, ガラス、ErではYAG, ガラス、YSGGである(13)。

複合ドープガラスでは、Yb-Tm, Yb-Tm-Ho, Yb-Ho, Yb-TmガラスがHOYA（株）で開発されている(9)。Ybは増感剤で、ガラスはAlmino-Zirco-Fluoride (AZF) glassである。Tm,Ho複合ドープAZF

では、レーザー発振が得られている(14)。Tm,Ho複合ドープYAGレーザーでは、70%のスロープ効率が達成されている。　発振しきい値は、12mWである。

参考文献

(1)S.W.Henderson, et al.: Tech. Digest CLEO'92 CDM3 (1992).
(2)P.Lacovara, et al.:Tech. Digest CLEO'91 CME2 (1991).
(3)P.Lacovara, C.A.Wang, H.K.Choi, R.L.Aggarwal, and T.Fan: Opt. Lett. 16, 1089 (1991).
(4)L.D.Deloach, S.A.Payne, L.L.Chase, L.K.Smith, W.L.Kway, and W. F. Krupke: IEEE J. Quantum Electron. 29, 1179 (1993).
(5)D.Smith, and T.Y.Fan: Conf. Proc. of LEOS'94 SS3.2, 419 (1994).
(6)R.Allen, and L.Esterowitz: SS3.3, 421 (1994).
(7)T.Y.Fan, G.Huber, R.L.Byer, and P.Mitzscherlich: IEEE J. Quantum Electron. 24, 924 (1988).
(8)M.E.Storm, G.J.Koch, and W.W.Rohrbach: OSA Proc. 6, 140 (1990).
(9)T.Izumitani, B.Peng, and X.Zou: Advanced Solid-State Lasers (Tech. Digest Series Vol.2, New Orleans, Louisiana) 364 (1993).
(10)K.A.Stankov,G.Marowsky:Tech. Digest (1994 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe) CFC2, 388 (1994).
(11)P.J.Meyn et al.: Tech. Digest CLEO'93 Postdeadline Paper PDP9 (1993).

(12)S.A.Payne, L.L.Chase, L.K.Smith, W.L.Kway, and W. F. Krupke: IEEE J. Quantum Electron. 28, 2619 (1992).
(13)桑野泰彦：レーザー研究　21, 62 (1993)
(14)M.Doshida, K.Teraguchi, M.Obara, K.Ota, and H.Saito: Proc. of LEOS'94 SS4.4, 427 (1994).

１．１．５　ＹＡＧレーザについて

１）　世界の情勢

Ｎｄ：ＹＡＧ（以下ＹＡＧ）レーザの室温ＣＷ発振を、アメリカのBell研究所のGeusicらが１９６４年に確認してから３０年になる。その間のＹＡＧレーザの発展は目覚ましく、電子部品業界、精密機械産業などで、マーキング、トリミング等のマイクロ加工、最近のｋＷ級のレーザの開発と相まって溶接、切断等で産業界で順調に伸びてきた。

ＹＡＧレーザはＣＷ、パルス、Ｑ－スイッチというように様々な発振モードが可能である上に、さらにＣＷとパルス、パルス波形の制御等を行うことにより、変化にとんだ加工が可能である。また、最近ではランプ励起に代わりダイオードレーザ（以下ＬＤ）励起による高輝度化、非線形光学結晶を用いた可視光やＵＶ光発生にも用いられている。

ＹＡＧは波長が１０６４ｎｍでファイバーでの光伝送が可能であり、ロボットと組み合わせて溶接、半田等の生産ラインへの普及も行われている。また、医学界でも低侵襲治療性治療が広まるにつれてＹＡＧのファイバー伝送での治療は必要不可欠なものとなってきている。

高出力化に関してはロッドタイプのマルチモードでの高出力化は研究段階を終え、ランプ励起のマルチモードで平均出力３ｋＷ級まで市販され、４ｋＷ級も近く市販されるところまできている。レーザロッドには熱歪みによる入力限界があるため、高出力化には複数のロッドのカスケードが必要である。逆に、マルチカスケードで熱レンズ効果をうまく利用して、効率的にエネルギーの伝搬を行い、高出力化を図っている。ＹＡＧ結晶の開発も行われ、一本当たり５００Ｗ出力であったものが、１ｋＷも可能になってきている。

現在の研究の方向は、平均出力の高出力化と共に単位面積当たりのエネルギー密度を上げる高輝度化の研究に移っている。ビームを光学系で集束する場合に、ＹＡＧ結晶は励起・発熱・冷却に伴う温度分布による光学歪みを生じ、ビーム品質の劣化による低集束性が問題となっている。高輝度化方法として最近特に研究が盛んな方法は、(1)スラブレーザによる熱レンズ効果の補償、(2)ＬＤ励起による入熱の低減化、(3)位相共役鏡などの能動光学素子による補償が行われている。

米国ローレンス・リバモア研究所ではｋＷ平均パワー出力ダイオード励起全固体レーザシステムを開発している。ダイオード励起のスラブ型ＹＡＧレーザで１０Ｊ，１００Ｈｚ発振で解析限界の１．５倍以内のビーム品質を持っている。さらに現在、３ｋＷを目指している。また、このシステムでは位相共役鏡共振器も用いて、熱レンズに歪みを補償している。

また、ｃｗ発振では独国のLaser Center of HannoverがＬＤ励起による高出力ＹＡＧレーザの開発と単一横モード（ＴＥＭ００）化を行っており、５００Ｗ

励起でマルチモード動作で１５０Ｗ出力、ＴＥＭ００モードで３２０Ｗ励起で３５Ｗが得られている。さらに、ｃｗマルチモードで８００Ｗ，ＴＥＭ００モードで５０Ｗにする予定である。この中でMaster Ocillator/Power Amplifiers（ＭＯＰＡ）のシステムの報告もなされている。一台のマスターの高品質ビームを他の複数の増幅器を通すことにより、高品質でかつ高エネルギの出力を取り出す方法である。

また、Ｑ－スイッチによる高いピークパワー、単一モードの高輝度レーザを用いて非線形光学結晶による高調波発生、パラメトリックオーシレータ（ＯＰＯ）の研究も最近活発に行われている。ＬＤ励起による完全固体化は効率、寿命、安定性に優れており、小型の緑光源としてＣＤのピックアップ用、緑、及び紫外光源として小型の加工機、また他のレーザの励起用として期待され、多くの研究開発が行われている。ＬＤの低価格化に伴い、小型の商品が市販され始めており、今後の更なるＬＤの低価格化により飛躍的に伸びてくるものと期待される。

応用分野では主に溶接、穴開け、マーキング、トリミング等で電子部品業界、精密機械産業などで使用されてきた。最近は高出力レーザの開発と相まって、金属、特にアルミニウム関係の溶接等の研究が多くなされてきた。高出力が必要とされる板金の溶接では炭酸ガス、ＹＡＧが使用されてきたが、ＹＡＧの方が波長が短く金属の吸収力の点で有利であり、ファイバー伝送が可能であることから、今後、自動車分野等のラインへの導入を活発化されていくものと思われる。また、アルミニウムは軽量、加工性、耐食性で優れており、今後も様々な分野で使用がされる。

波長変換による倍波、４倍波、ＯＰＯの研究盛んに行われているが、出力的にはまだ低いものが多い。非線形結晶等の今後の開発によって、現在、用いられているエキシマレーザや色素レーザと並んで使用されることが期待される。

2）　日本の情勢

はじめに

日本でのＹＡＧレーザの販売は９３年度で約１３００台が販売されており、用途別では溶接、マーカーで６０％以上を占めている。現在、各種産業界で広く使用されており、解説等の記事では様々な種類のレーザや応用について述べられている。論文の発表では大出力化に伴うアルミニウム合金等の溶接、高品質、長寿命、高効率を目指したダイオードレイザー励起、波長変換等が比較的多い項目といえる。

光源に関しては、ＬＤ励起、波長変換に関する報告が多い。また、Ｎｄ：ＹＡＧではないが他の固体結晶に関する報告も多い。ＬＤ、波長変換は商品化も行われ始めていることから、高効率を目指した報告が主であり、今後はこれらを用いた高出力化、高輝度化の方向に進むものと思われる。

応用では、ｋＷ級の大出力レーザの商品がでてきたことから、アルミニウム合金の溶接に関する報告が多くなされており、ファイバー伝送のメリットを活かした自動車分野等のラインへの導入が目指されている。

以下にキーとなる項目について述べる。

光源

(1)高出力、高輝度

ｋＷ級のＹＡＧレーザは、日本では既に東芝、住友重機械、Ｈｏｂａｒｔ等でマルチモードのロッドレーザが既に商品化されて実用段階になっていることから、特に大きな動きはない。高輝度化を目指したスラブレーザの研究は富士電気、三菱電機で報告されている。富士電気では４２０Ｗで約２５０ＭＷ／ｃｍ２・ｓｒの輝度の報告、三菱電機は単一ヘッドでｃｗ１ｋＷ、パルスで１．４ｋＷの報告がなされ、高輝度・大出力レーザによる応用が期待される。また、大阪大学では高出力、高効率を目指したＬＤ励起によるＭＯＰＡシステムの研究がなされており、高調波光の発生も行われている。

システム化

ＹＡＧレーザはファイバーによる光伝送が可能であり、加工位置の自由度向上等フレキシビリティの高いシステム設計が可能である。最近では、２ｋＷ以上の連続出力がコア径0.6mmで伝送した例も報告されている。加工システムの自由度を高めるだけではなく、原子力発電所等の人の立ち入れない部分の溶接や、医療での治療ではこの特性はなくてはならない特徴である。

ファイバーを用いた応用の解説として、伊藤（東芝）の工業的応用、久保（近畿大学）の医学応用がある。加工性能を上げるため、ﾌｧｲﾊﾞｰの細径化や、それに伴うＬＤ励起やスラブの使用によるビーム品質の向上の報告もなされている。また、ｋＷ級の高出力のファイバー伝送の解説も三菱重工からなされて

いる。

加工機としても住友重機械からファイバーを用いた3次元加工機により、曲面溶接や様々な角度の穴開けの報告がなされているほか、ファイバー伝送の特徴を生かしたロボットの報告もなされている。

応用

(1)溶接

最近、kW級の大出力レーザが登場したことから、今まで困難であったアルミニウム合金の溶接特性についての報告が多く、住友重機械、東芝、神戸製鋼等からなされている。住友重機械では平均出力2kWのYAGレーザで板厚3mmまで割れがなく安定に溶接が可能であり、割れ防止にはパルスの制御が重要であると述べている。YAGレーザはCO2と比較して吸収が大きく、ﾌｧｲﾊﾞｰ導光が可能のため、YAGレーザの高出力化が待たれていたのであるが、これで産業用としてラインへの導入が、自動車分野等で図られている。

(2)表面改質

YAGレーザの場合には、熱による母材の溶融に伴い、表面の改質が行われる。耐食性、対磨耗性、耐熱性の向上を目指したもので、YAGの応用の解説で述べられている。各種金属表面のTiN層生成による硬化、金属、酸化物および窒化物超微粒子生成、アモルファス合金層の生成が行われている。また、YAGレーザPVDにより金属基盤表面にセラミックス皮膜形成もなされている。石川播磨重工業でも構造材料の表面改質をYAGレーザのﾌｧｲﾊﾞｰ伝送で行っている報告もなされている。

(3)計測システム

最近、環境問題から大気の観測用としてYAGレーザを用いたライダーの報告が奥村（千葉大）、松井（国立環境研究所）によりなされている。測定対象により利用される波長が変わるが、主にYAGベースの基本波、第2、第3高調波が用いられているか、YAG高調波を励起光源に用いたもので行われており、今後もYAGベースで発展していくものと考えられる。

(4)波長変換

波長変換は昨年までは多くの報告がなされていたが、既に商品化されてきており発表も効率化等の報告が主となっている。三菱電機ではLD側面励起により高効率のcwの倍波発生の報告を行っている。大阪大学でもパラメトリック発振の励起光源としてインジェクションシーディングによる倍波発生の報告を行っている。

また、高調波光を用いた加工特性に関しては、東芝が1kHz、1mJの第

４高調波（２６６ｎｍ）の紫外光を用いて、ＫｒＦと同様に熱影響の少ない加工が可能であることの報告、千葉大が第２高調波を用いて、ガラスエポキシ、単結晶フェライトの加工特性に関して報告を行っている。

１．はじめに

半導体レーザの室温連続発振が達成されたのは、いまからちょうど四半世紀前になる。それ以来、半導体レーザの研究は猛烈な速度で進展した。低損失・低コストの光ファイバの開発と伴って、これらの２つをキーデバイスとする光ファイバ通信システムの研究・実用化は一気に加速された。現在では、光ファイバ網は地球規模で敷設され、商用化されている。

今日、音声・画像・データのマルチメディア時代を迎え、また、米国ゴア副大統領が提唱している「情報スーパーハイウエイ構想」、あるいはＮＴＴが提唱している将来の電話のサービスイメージである「ＶＩ＆Ｐ（見える、賢い、私の）構想」においても、光ファイバ通信網が果たす役割はきわめて大きいと期待されている。２１世紀社会のインフラストラクチャとして重要であると認識されて、郵政省による新世代通信網関西プロジェクトもスタートしている。

光ファイバ通信は、基幹回線の伝達系のみならず、加入者のアクセス系およびノードへの導入など、ネットワークの全光化という新しい局面を迎えつつある。これに伴い、四半世紀にわたり改良改善が加えられてきた半導体レーザへの要求もますますエスカレーションしつつある。これまで半導体レーザは、ひよわな貴公子として扱われてきた面がある。たとえば環境温度の上昇に敏感であり、ペルチエ素子の保護者が常時必要であった。動作電流も低ければ低いほど良いが、数１０ｍＡであれば合格とされた。また発振スペクトル幅も、固体レーザあるいは気体レーザより悪くてもあたり前であった。ファイバとの結合は、活性層の断面形状が違いから、３ｄＢ程度の結合損失は仕方がないとされていた。

これに対して、今日半導体レーザが使用される環境は、いちじるしく厳しくなり、半導体レーザには極限特性、あるいは「たくましさ」が要求されている。このためには、つぎのようなブレークスルーが必要と考えられる。

（１）デバイスシミュレーションの進展：
　　物理に根ざした極限追及のための材料・構造探索。
（２）超博膜エピタキシャル成長技術の進展：
　　ヘテロ界面の集合体である歪量子井戸構造のさらなる高品質化、および成長技術を駆使した量子箱構造の製作。
（３）集積化プロセス技術の進展：
　　グレーティング・光導波路などの機能パーツ部のモノリシック化技術、および電子ビーム描画技術。
（４）実装技術の進展：

高信頼性・低コストのデバイス提供を可能にする。２、３インチウエハ製作プロセスが進むなかで、ボトルネックになっている。

現在多くの研究機関では、これらのブレークスルーを目指し、半導体レーザの高機能化の研究が活発に続けられている。本報告では、テーマごとに最新のデータをもとに世界の現状と、昨年の日本の現状をまとめる。

２．低しきい値レーザ

低しきい値は、実用上、重要な半導体レーザの設計パラメータである。低しきい値を実現するには、つぎの２つの条件を満たすことが必要である。

（１）活性層の最適設計

バルクの活性層に代わって、歪み量子井戸構造を用いることが今日常套手段である。ただし、この目的遂行には、少ない注入電流で効率良くゲインを稼ぐことが求められる。注入電流密度の低減と考えてよい。

この実現手段としては、

（ａ）圧縮歪み量子井戸構造を用いて、価電子帯の状態密度を小さくすることによって、伝導帯の状態密度とのアンバランスを補正する方法、

（ｂ）引っ張り歪み量子井戸構造を用いて、レーザ発振に有効に寄与するエネルギー準位のみに効率良くキャリアを注入する方法、

の２通りがある。

１井戸当たりの注入キャリア量を低減する設計思想や、光閉じ込めを稼ぐための量子井戸構造の多重化（多重量子井戸構造）と共に、材料ごとに確立された量子井戸設計手法を選択すれば良い。結晶の品質面から、現状では（ａ）の手法が主流である。　また、良質な埋め込み構造も低しきい値実現のためには重要であり、注入キャリアが効果的に活性層に注入されるようにしなければならない。これらの基本技術は地味ではあるが、低しきい値化を実現するうえで重要である。またレーザと電子デバイスとの共存などの観点から、基板の種類（ｐ、ｎ型）にも柔軟に対応できる埋め込み技術が、低しきい値実現にとって重要である。

（２）キャビティの最適設計

キャビティのボリュームを減らすこと、キャビティの両端面の反射率を上げること、などによりミラー損失を低下させ、ゲインと損失の釣り合い点（しきい値）を低下させることが必要である。面発光レーザやマイクロキャビティレーザはこの利点を利用したものであり、低しきい値レーザのポテンシャルとしては楽しみなものがある。

しかし、ここでのデータは、キャビティを結晶成長面方向に形成する従来タイプについてのみ述べる。現状では、キャビティ長を１００～２００μｍとし、光を取り出す端

面は幾分かは低い反射率ながらも、両端面とも高い反射膜構造としたものが用いられている。

データ

これらの設計方針のもとに製作された通信用半導体レーザの中、注目されている長波長についてデータを紹介する。

両端面９９％以上の反射率として、μW級の出力でいいとすれば、室温で～１００μ級のしきい値となることも報告されている。しかし、ある程度の出力が取れ、実用が可能そうなものとしては、トップデータはサブミリアンペアであり、わが国が世界のトップである。

○関西日本電気：0.4mA@20℃、3.0mA@85℃、1.3um帯、キャビティ長150um、95%/98%

○日立：0.58mA@20℃、1.62mA@90℃、1.35um、キャビティ長100um、96%/98.5%

○富士通：1.0mA@20℃、3.5mA@80℃、1.3um帯、キャビティ長200um、80%/96%

３．高温レーザ

高温特性のレーザは短波ではＣＤなどで実用になっており、最高発振温度は２００℃を越える報告がなされている。また、高温レーザと一般に呼ばれているものは、

（１）最高発振の温度が高い、

（２）しきい値が高温になっても変動が少ない（いわゆる、T0が大きい）、

のいずれかが従来の主流である。これらは光出力パワーについてはさほど問題とせずに、２節の「低しきい値レーザ」で述べたように、両端面に高い反射膜を導入し実現している。厳密に議論しなければ、（１）と（２）は相関があるので、両者の差異について気にしなくてよいことが多いが、物理的意味を持たせて議論する場合には（１）の指標が好ましい。一方、最近では、かなりの光出力を要求されながら、高温特性を備えた半導体レーザの要求もあり、一概に高温レーザを論じることが難しい状況にある。

世の中のトレンドは、「低しきい値」の活性層設計と同様に、バルク半導体にかわって歪み量子井戸構造を用いることが主流である。高温特性の設計指針は、ゲインを稼ぎながらもキャリアのオーバーフロー（主として、伝導帯の電子）を抑えることがポイントであり、そのため、材料選択を含めて歪み量子井戸設計が重要である。

データ

ここでは通信用半導体レーザとして長波長系（１．３μｍ帯）での取り組みについて述べるが、本質は短波長においても同様である。

○BellcoreとLasertronのグループはAlGaInAs/InPでリッジレーザを作製し、電子を量子井戸に十分閉じ込める材料選択を歪み設計とともに行い、２５～１００℃まで変化したとき、微分量子効率が０．３ｄＢの変化に過ぎないデバイスを報告した。

○富士通は同様なシナリオで、InGaPをクラッドに用いたブロードコンタクトレーザで
T0=１００Ｋにも達することを報告している。
○これらの新材料の報告に対して、従来のInP系での埋め込み構造での報告も多く、
Philipsからは、系統的な歪み量子井戸構造での良好な性能が報告されている。

最高発振温度でも古河電工からの１７０℃や、一連の設計指針とともにＮＴＴからの報告もある。また、関西日電から、３０ｍＡの注入電流で、－２０～８０℃で出力変動が２ｄＢとの報告や、古河電工からはミラー損失の温度依存がゲインの温度依存を打ち消す手法で温度に対する出力変動を抑制する構造が提案され、その有効性が示されている。

４．波長可変レーザ

４．１　世界の現状

ＮＴＴの超周期構造回折格子（ＳＳＧ）ＤＢＲレーザによる１００ｎｍの可変幅がトップデータである。ＳＳＧ－ＤＢＲレーザの特徴は、共振器内へ複数の反射ピークを有する回折格子（ＳＳＧ）を集積している点であり、バーニャ効果により広領域にわたる波長可変を実現している。

技術の流れとしては、トップデータ狙いは引き続き各研究機関で行われると思われるが、ほぼ終了したのではないかと考えられる。今後はトップデータ狙いというよりも、ある程度の領域を連続に、かつ安定に波長可変できるレーザの実現に力が注がれるのではないだろうか。また、高速波長切り替え、複数波長可変レーザの集積された光源といったアプリケーションへの適用の検討にいる時期になったのではないかと考えられる。

４．２　日本の現状

日本においてはWDMへの適応を目的として、モノリシック素子による他波長光源、波長切り替え後の波長安定性の議論、コヒーレンシーの高いままでの波長可変光源といった部分に発表がみられる。

例えば１９９４年秋の信学会での可変波長レーザに関する発表では、以下のようなものがある。

○熱制御型ＳＳＧ－ＤＢＲレーザによる狭線幅、広域波長可変動作
　　石井啓之他（ＮＴＴ）、Ｓ－２－３
○受動導波路加熱型（ＨＯＰＥ）ＤＢＲレーザ
　　森浩他（アンリツ）、Ｃ－２９６
○ＥＰＥレーザの光周波数可変範囲拡大の検討
　　森永素安（東芝）、Ｃ－２９７
○ＭＯＶＰＥ選択成長を用いた多波長ＭＱＷ－ＤＢＲレーザアレイ

佐々木達也（ＮＥＣ）、ＳＣ－２－２

５．高速レーザ

５．１　半導体レーザの変調帯域

データ

○１．３μｍ帯ファブリペロレーザ：２２ＧＨｚ(GTE Labs)
○ｐドープ１．５５μｍ帯DFBレーザ：26GＨｚ(ATT Bell Labs)
○変調ドープ１．１μｍ帯ファブリペロレーザ(Fraunhofer-Institutfur Angewandte Festkorperphysik, Germany)

５．２　半導体モノリシックモード同期レーザ

データ

○受動モード同期レーザ：繰り返し1.54THz, パルス幅0.26ps(沖電気)
○ハイブリッド（受動＋能動）同期CPMレーザ:繰り返し38.5GHz, パルス幅0.95ps (Bell　Labs)
○能動モード同期レーザ：繰り返し16.3GHz, パルス幅1.6ps(NTT)

６．集積化レーザ

６．１　光変調器を集積した分布帰還型（ＤＦＢ）レーザ

日本が開発し、先進を切っている．富士通，日立，日電の各メーカＮＴＴ，ＫＤＤの研究所がおもな機関である。光変調器として、バルク結晶による電界吸収効果を用いたもの、あるいは多重量子井戸構造の量子閉じ込めシュタルク効果を用いたものに分かれる。

データ

○トップデータでは1.55ミクロン帯．２Ｖの電圧で消光比20ｄＢ．小信号帯域15ＧＨｚ，２０Ｇｂ/ｓの変調が可能（ＮＴＴ）．
○日電，日立は選択成長によりレーザ部と変調器部を同時に形成する方法を開発した．

海外ではATT, Alcatel, philips, Ericson等日本のキャッチアップを行っている．

６．２　スポットサイズ変換付きレーザ

はじめで紹介した通り、光ファイバとの結合を良くするため、新しい試みが行われて

いる。半導体レーザのスポットサイズをファイバのスポットサイズにまで拡大するための導波路を、モノリシク技術を用いて集積されている。

データ

研究機関：British Telecom, Gent Univ., NTT, Fijitsu, ATT.

フラット端の光ファイバへの結合損１ｄＢ程度が実現されている。

６．４　レーザアレイ

波長多重通信を狙い、多数の単一波長レーザ（ＤＦＢ）を一つの基板上に集積している。出口は１本の導波路でまとめられている。

データ

○２０波長ＤＦＢレーザアレイ（NTT）

○２１波長ＤＦＢレーザアレイ＋導波路＋結合器（Bellcore）

○ファブリペロレーザアレイ：インターコネクト用（三菱，日立）

７．面発光レーザ

７．１　はじめに

近年、結晶成長その他の技術によりブラッグ反射鏡（DBR: Distributed Bragg Reflector）からなる共振器構造を基板に形成し、レーザ光を基板に対して垂直に取り出す、いわゆる面発光レーザが注目されてきている。すなわち、面発光レーザは従来の導波路型レーザと比較して、劈開が不要、基板レベルでテスト可能、円形出射ビーム、二次元集積化光源が可能、電子デバイスとプロセス整合性が良い等の非常に魅力的な特徴を持っているからである。

これまで面発光レーザは短波系を中心に0.78～1.0μm帯で研究が進められてきた。これは、前述したDBRがAlGaAs系を用いることにより、

（１）すべてのAl組成で格子定数がほぼ整合している

（２）屈折率差が比較的大きくとれる

など、比較的容易に作製できるからである。

1989年に東工大において初めて室温ＣＷ発振に成功して以来、様々な研究機関で精力的に取り組まれてきた。しかしながら、DBRを構成するAlGaAs/GaAsが広い禁制帯幅差を持つため、ヘテロ接合界面においてスパイクが発生し、このためDBRが極めて高抵抗となるという問題が生じた。このため当初は閾値電圧が10V程度もあった。これに対してAlGaAs/GaAs界面に中間層を導入するなどして現在では閾値電圧は2V程度までに低下している。

7．2　短波系の面発光レーザ

最近の研究目標は、高出力、高温度動作、電力／光変換効率の向上など光インターコネクションへの応用を睨んだものとなってきている。

データ

○NECはInGaAs/　GaAs QWを用いた0.98μm帯面発光レーザで160℃まで動作を確認した。

○電力／光変換効率に関してはUCSBが21%まで達成している。

またアレイ化については、Bell、NTT、大がそれぞれそれぞれ8×8　64ビット面発光レーザアレイチップ試作に成功している。

7．3　長波系面発光レーザ

短波系とほぼ同じ頃に研究が開始されたが、DBRを構成するInGaAsP/InPの屈折率差が小さいこと、p型の場合フリーキャリア吸収による反射率低下が無視できないこと、DBRの膜厚が片方だけでも7～8μmと非常に厚いなど、短波系と比較して半導体DBRが形成しにくいという困難に直面した。しかし、活発に打開策が検討されており、近い将来、室温CW発振も間近なものと思われる。

データ

○東工大で熱放散性の良いMgO/a-Si誘電体多層膜を用いたDBR構造による18℃までのCW発振、

○UCSBによるGaAs/AlAs半導体DBRをInP活性層に貼り付けた構造による室温、パルス発振など。

8．可視光レーザ

8．1　世界の現状

（1）赤色

システム要求は５０℃、３０mW駆動時の長寿命化、低閾値化などである。

６００ｎｍ帯ＧａＩｎＰ／ＧａＡｌＩｎＰ

○三洋　MQW　L150μm, 30%/80%, Ith12.6mA, Tmax80℃

L350μm, 672.2nm, Tmax120℃, 寿命1000h(推定10000h)（5mWAPC)

（ＬＥＯＤＳ’９４　Ｂｏｓｔｏｎ）

○ＳＤＬ(Geel R.S. et al.)　SQWレーザアレイ

Fill Factor 65%　1cm幅　　90W,　690nm,　パワー変換効率30%

（ＬＥＯＤＳ’９４　Ｂｏｓｔｏｎ）

○上智大（岸野）　（半導体レーザ国際会議９４　ハワイ）
Multiple Quantum Wire レーザ
J　th294A/cm2(20℃,CW),Tmax70℃, 50mW/facet, hD37%
○日立(Chisa H. et al.)　（半導体レーザ国際会議９４　ハワイ）
歪超格子, 40mW, 60℃, 寿命1000h以上
○Ｐｈｉｌｉｐｓ(Valster A. et al.)　（半導体レーザ国際会議９４　ハワイ）
レーザアレイ　50℃, cross talk 3%以下, 2～20mW/レーザ, 寿命4000h
○ＮＥＣ(Hotta H. et al.)　（半導体レーザ国際会議９４　ハワイ）
MQW, Ith38mA(25℃), Tmax90℃, 639nm, 寿命10000h(APC 60℃, 5mW)
○三洋(Hitoyama R. et al.)　（半導体レーザ国際会議９４　ハワイ）
MQW, Ith33mA(25℃), Tmax90℃, 636nm, 寿命1200h(APC 50℃, 5mW)
○富士通(Furuya A. et al.)　（半導体レーザ国際会議９４　ハワイ）
MQW, T0179K(15～50℃), T0120K(60～90℃), L700mm, 7～13%/95%, 674nm
○日立(Tanaka T. et al.)　（半導体レーザ国際会議９４　ハワイ）
MQW, GaAsP基板, 格子整合組成, 200K,パルス発振, 最短波長577nm,
Ith115mA(77k), Ith380mA(200K)

（２）青色
課題は、キャリア濃度の高いｐ型クラッドの探索、ｐ型キャップ層、長寿命化のための結晶欠陥低減長など。
（ａ）ＩＩ－ＶＩ系
ＩＩ－ＶＩの欠点は、
１）良好な基板がない、
２）ＩＩ族とＶＩ族の蒸気圧がほぼ同じ、
３）アクセプタ準位が深い、
４）格子整合条件下でのＥｇ選択幅が狭い、
５）ヘテロ構造において伝導帯でのギャップが小さい、
など。

<u>データ</u>
○ＺｎＳｅ伝導型制御（松下１９８９年、３Ｍ１９９０年）：１Ｘ１０１８ｃｍ－３
○ＺｎＣｄＳｅ／ＺｎＳｅ　ＭＱＷレーザ７７Ｋパルス発振（３Ｍ　１９９１）
クラッド層にＺｎＳＳｅを用いたＳＣＨ構造、ＧａＡｓ基板
Ｊth320ｋＡ／ｃｍ２、動作電圧２０Ｖ、波長４９０ｎｍ
○ＺｎＣｄＳｅ／ＺｎＳｅ　ＭＱＷレーザ室温パルス発振（３Ｍ　１９９１）
Ｊth2.8ｋＡ／ｃｍ２、波長５３５ｎｍ
○キャリア閉じ込め効果の高いクラッド層提案　ＺｎＭｇＳＳｅ（ソニー　１９９１）
○ＺｎＣｄＳｅ／ＺｎＳｅ　ＭＱＷレーザ８０Ｋ　ＣＷ発振（３Ｍ　１９９２）

Ｊth１００Ａ／ｃｍ２、波長５１０ｎｍ

○ｐ型キャップ層提案

ＺｎＴｅ／ＺｎＳｅ超格子（Ｂｒｏｗｎ大１９９２）

ＨｇＳｅ（Ｎｏｒｔｈ　Ｃａｒｏｌｉｎａ州立大１９９２）

○室温ＣＷ発振（ソニー１９９３）

Ｉth６０ｍＡ、動作電圧５Ｖ、波長５０９ｎｍ、寿命１時間（ＡＰＣ１ｍＷ）

得られる波長域　４９０ｎｍ～５２４ｎｍ

（ｂ）ＩｎＧａＡｌＮ系（成長技術ＭＯＶＰＥ）

データ

○光励起発振（名古屋大1991）

○材料ＧａＮ,波長372ｎｍ、閾値励起密度0.7MW／ｃｍ２

８．２　日本の現状

（１）６００ｎｍ帯ＧａＩｎＰ／ＧａＡｌＩｎＰ

世界の現状に同じ

（２）青 色

○ソニー：世界の現状に同じ

○松下：室温パルス(1.4kA/cm２、12～14V）、ＣＷ（1.8k）

○ＮＴＴ：室温パルス(11kA/cm２、20V）、ＣＷ（150k）

○日立：室温パルス(400mA)

○三菱：77Kパルス(1～1.5kA/cm２)

○シャープ：室温パルス

９．量子線・量子箱レーザ

９．１　世界の現状

量子細線、量子箱の分野そのものは多くの機関で研究されているが、デバイス化の動きはそれほど多くはないのが現状である。

V溝上細線レーザ（Kapon,Bellcore）、EB露光エッチング細線・箱レーザ（Arai,東工大）が従来から研究されてきたが、最近は歪み量子井戸のself-organizationを利用した量子箱構造のレーザが複数の機関から報告されている(Temmyo,NTTおよびKirstaedter,Berlin工科大)。

また、Bell研のPffeifer等は超格子へきかい面上に量子井戸を成長し、疑似１次元構造の活性層を持つレーザを作製している。

デバイスとしての特性で評価した場合、室温で連続発振するものも得られているが、量子細線や量子箱としての効果そのものは観測されておらず、それぞれのデバイスの性

能の違いは主に作製方法に起因しているのが現状である。しかし、作製方法そのものは次々と新しい方法が開発／提案されており、その勢いからデバイスとしての効果が確認できるのではないかという期待はむしろ高まっている。

９．２　日本の現状

デバイス化まで行った所としては以下のものが挙げられる。

○東大先端研　（荒川研究室）：
選択成長によるInGaAs/GaAs面発光量子細線レーザ
光ポンプにより低温で発振を得ている
○NTT光エレ研：
self-organizationにより作製したInGaAs/AlGaAs歪量子ディスクレーザ
室温連続発振
○東工大　（荒井研究室）：
EB露光により作製したInGaAsP引張り歪量子細線レーザ
従来より同方法で作製したレーザを継続的に研究している。
超格子側壁溝成長によるInGaAs/InGaAsP量子細線レーザ
　　７７Ｋでの電流注入発振
○東工大　（浅田研究室）：
EB露光により作製したInGaAsP量子箱レーザおよび理論解析

○上智大岸野研：
self-orderingにより作製したGaInP/AlGaInP量子細線レーザ
室温連続発振
○NTT基礎研：
傾斜基板上に成長した量子細線で作製した面発光レーザ

その他、光デバイス応用を目指して以下の機関で研究が行われている
○北大量子界面研究センター長谷川／福井研
○富士通
○NEC基礎研
○東大白木・尾鍋・伊藤研

1．1．7 自由電子レーザー

1 世界の現状

1977 年のスタンフォード大学 (Stanford University) における世界最初の自由電子レーザー (Free Electron Laser; FEL) 発振成功以来、すでに、20 年近い年月が経とうとしており、各国における自由電子レーザーの発振を目指した装置開発競争も一段落の感がある。

毎年夏に行われ、世界の自由電子レーザー研究者が一同に会する自由電子レーザー国際会議 (International Free Electron Laser Conference) に、1994 年から自由電子レーザ利用者ワークショップ (FEL User Workshop) がサテライトとして併設されるようになったことにも象徴されるように、研究者の注目は装置開発から利用研究に徐々に移ってきている。

1980 年代にはアメリカの SDI 関連予算を注ぎこんで自由電子レーザーの研究開発が行われたが、東西冷戦の終結とともに軍事予算が削減された結果、各研究グループが、ユーザー利用施設として新たに予算を獲得し、生き残りをかけているという事情も考えられる。

ここでは、現在運転されている自由電子レーザー装置の概要を紹介した後、今後展開されるユーザ利用施設についてまとめてみることにする。

1.1 線形加速器自由電子レーザー

線形加速器 (linear acclerator; リニアック) を用いた自由電子レーザーについては、1980 年代のスタンフォード大学、ロスアラモス研究所 (Los Alamos National Laboratory) などにおける先進的な研究の成果もあって、赤外領域自由電子レーザー装置の設計、製作、運転技術はすでに確立されたものとなっている。

現在稼働中の装置としては、アメリカでは、スタンフォード大学の超伝導加速器自由電子レーザー、デューク大学 (Duke University) の Mark-III 加速器、ヴァンダビルト大学 (Vanderbilt University)、フランスの CLIO、オランダの FELIX などがある。

線形加速器を用いた自由電子レーザーの場合、発振波長は赤外領域が中心であるが、3 倍高調波を使って可視光を得る実験も行われており、ロスアラモスにおける 380nm の発振実験 (1993 年) などがある。

線形加速器自由電子レーザーでは、高輝度電子ビームの開発が発振成功の鍵となる。特に、可視～紫外の発振を目指す場合には、非常に輝度の高い電子ビームが必要であるため、レーザーフォトカソードを用いた電子銃が使われる。ロスアラモスの 380nm の発振実験も、レーザーフォトカソードを備えた高周波電子銃 (RF-Gun) を用いたものである。レーザーフォトカソードは、高輝度電子ビームを得るためには有用であるが、寿命が短い、コストが高いなどの欠点もあるため、電子ビームの条件が緩やかな赤外 FEL では、従来型の熱陰極電子銃が用いられている。

1.2 蓄積リング自由電子レーザー

蓄積リング (storage ring) を用いた自由電子レーザーとしては、フランス (LURE) の Super-ACO、電総研の NIJI-IV などが稼働中である。さらに、デューク大学で建設が進んでおり、LURE でも新しい蓄積リングの計画が進行中である。

これまでに得られた最短波長は、ロシア (VEPP-III) の 240nm であるが、デューク大学に建設中の蓄積リング (250 ～ 1000MeV) では、60 ～ 450nm の発振を目指しており、もし、発振に成功すれば最短波長の自由電子レーザーとなる。

1.3 その他の自由電子レーザー

静電加速器を用いた自由電子レーザでは、UCSB(University of Carifornia, Snata Barbala; カリフォルニア大学サンタバーバラ校) がユーザ利用施設として稼働中である。この施設は世界最初のユーザー利用 FEL 施設であり、FEL 光を利用した物性研究などの成果がいくつも報告されている。特徴としては、利用者が簡単に装置を運転できるようなインターフェースを持っていること、非常に安定なレーザー光が得られることがあげられる。

誘導加速器 (インダクションライナック)、パルスラインを用いた自由電子レーザは、マイクロ波～ミリ波の領域で大出力の電磁波が得られる特徴をもっており、核融合プラズマ加熱用やリニアコライダー用の大出力マイクロ波源として期待されている。

1.3 ユーザ利用施設

ユーザ利用施設とは、自由電子レーザー発振光をビームダクトを通じて、いくつかの実験室に分配し、ユーザーが自由にレーザー光を利用できるようになっている施設である。高度化した制御システムをもち、加速器の専門家以外の一般ユーザーでも、装置の運転を容易に行うことができ、レーザー光のオンオフはもちろん、波長の変更なども可能になっている。

アメリカでは、最初のユーザー利用施設である UCSB の静電加速器自由電子レーザー (62 ～ 2500 μ m) の成功に続き、いくつかのユーザー利用施設が運転／建設中である。運転中の施設としては、デューク大学 (1.4 ～ 9.5 μ m)、スタンフォード大学 (1.5 ～ 11 μ m) があり、建設中の施設としては、ローレンスバークレー研究所 (Lawrence Berkley Laboratory)、ブルックヘブン研究所 (Brookheaven National Laboratory) などがある。医療、物性、化学、生物と幅広い分野において、利用研究が進められている。

ヨーロッパでは、フランスの CLIO、オランダの FELIX において活発な利用研究が行われている。レーザー光の波長は、CLIO で 1.8 ～ 17.5 μ m、FELIX で 5 ～ 110 μ m の範囲となっている。

現時点でのユーザー利用施設は、赤外領域が中心であるが、近い将来、フォトカソード電子銃の開発がさらに進めば、可視～紫外領域の FEL 発振が安定に得られる可能性もあり、短波長領域でのユーザー利用施設の実現もありうる。

2 日本の現状

蓄積リング自由電子レーザーでは、工業技術院電子技術総合研究所 (電総研) の

TERAS における発振成功 (1991 年) に引続き、電総研の NIJI-IV (1992 年)、分子科学研究所 (分子研) の UVSOR(1992 年) と発振成功例があるが、現在実験が行われているのは NIJI-IV のみである。

NIJI-IV は、自由電子レーザー専用として設計された長直線部を持つ蓄積リングである。595 ～ 589nm の最初の発振成功 (1992 年 8 月)、488nm の発振実験 (1992 年 9 月) を終えた後、蓄積リングを低エミッタンスモードに改造し、352nm の紫外領域における発振に成功している。(1994 年 4 月)

現在計画中の蓄積リング自由電子レーザーとしては、高エネルギー物理学研究所のトリスタンメインリングを用いた MR 実験、西播磨の Spring-8 における自由電子レーザー計画などがある。

一方、線形加速器自由電子レーザ (リニアック FEL) については、長い間欧米に遅れをとっていたが、1993 年 6 月の東京大学工学部附属原子力工学研究施設における発振 (43 μ m) 成功以来、1994 年 4 月には大阪大学産業科学研究所 (32 ～ 40 μ m)、1994 年 10 月には (株) 自由電子レーザ研究所 (5 ～ 20 μ m) とあいついで発振に成功し、ようやく、わが国もリニアック FEL 実用化の第一歩を踏み出した。

自由電子レーザ研究所の実験施設は、ユーザ利用を前提にした設計がなされており、レーザー発振光を各ユーザ実験室に分配し、ユーザが自由にレーザー光を利用できるようになっている。現在、赤外領域の FEL 発振が可能であるが、今年度中に可視から紫外領域における発振実験が予定されている。これらの FEL 光を利用した実験が順次開始される予定である。

その他の線形加速器自由電子レーザーでは、大阪大学産業科学研究所の L バンドリニアックを用いた発振実験、日本原子力研究所の超伝導加速器を用いた装置開発が行われている。

レーザー技術総合研究所 (レーザー総研) では、フォトカソード /RF 電子銃を備えたリニアックを使った実験を行っており、非常にエミッタンスの小さな電子ビームの加速に成功している。

また、マイクロ波領域の自由電子レーザーとしては、高エネルギー物理学研究所において、リニアコライダー用のマイクロ波源をめざした研究開発が、また、日本原子力研究所 (那珂研究所) では、核融合プラズマ加熱を目指した研究開発が行われている。

1．1．8波長可変レーザー

1.1. 液体レーザー

液体レーザーはレーザー媒質として有機色素を溶媒に溶かしたもので、近紫外から近赤外の波長域で波長が可変である。1960年の発明以来超精密分光などへの利用のために改良研究が行われてきた。さらに、1970年代後半からその波長可変性能、狭い周波数幅などがウラン同位体の分離に適用可能との理由で米国のローレンスリバモア国立研究所において高性能パルス発振色素レーザーの研究開発が精力的に開始された。この結果、パルス発振色素レーザー、特にヘンシュ型の色素レーザー発振器及び増幅器の性能は急速に向上している。また、分離用レーザーはその情報が極めて少ないこと、高い周波数安定性などを得るため周波数制御装置などの構成が複雑で高価であることなどから、その簡略化の研究も進められている。分離用レーザー以外では、斜入射型の色素レーザー発振器について周波数の安定化が試みられ、実用上十分な周波数安定性が達成されている。さらに大出力エキシマレーザーポンプによる大出力色素レーザー発振器の研究も行われ、ジグザグセルを用いることによって高いエネルギ変換効率と高品質ビームを発生させることに成功している。連続発振色素レーザーに関しては、リングタイプの周波数幅が1MHzより狭いレーザーが商品化されて以降は大きな進展は見られない。

(1) 銅蒸気レーザーによってポンピングされる色素レーザー発振器

銅蒸気レーザーでポンピングされるヘンシュ型の色素レーザーは、高い発振繰り返し数により高いSN比が得られることから分光、濃縮用に利用できるため周波数幅、周波数安定性、出力等の発振性能が詳しく研究されている。色素レーザーの周波数安定化に関しては、共振器を熱膨張の少ないスーパーインバー上に設置し、色素を溶かした溶媒の温度を100分の1度の精度で安定化し、共振器長の変化を最小に抑えると同時に、さらに共振器内の波長選択素子を制御することによって約60MHzの周波数幅と数十MHzの周波数安定性を得ている。また周波数安定化ヘンシュ型色素レーザーの周波数ジッターの主な原因は色素セル内を流れる溶媒の乱れによるなど、今後の一層の高性能化に対する指針が得られている。

リバモア国立研究所では、濃縮用色素レーザーの建設をほぼ終了したと思われる。この色素レーザーシステムは、1つのラインが色素レーザー発振器と3ないし4台の色素レーザー増幅器より構成され、それが4ライン設置されている。色素レーザー発振器はヘンシュ型の構造で、色素セルはコア径0.6mmの光ファイバーで伝送された銅蒸気レーザー光でポンピングされている。出力は繰り返し数26kHzで600mW以上、周波数安定性は±50MHzである。ドップラ拡がりを持つウラン原子を効率良く励起するため、色素レーザー発振器の周波数はリチウムタンタレイトフェーズモジュレータによって調整されている。色素レーザー増幅器には出力が500W以上とそれ以下のタイプの2種類があるが、構造は両者とも色素レーザー光、ポンプレーザー光及び溶媒が互いに直交するタイプである。色素レーザー光の位置安定性は10μR以下に制御されている。また、波面は25個のPZT駆動アクチュエータで制御されるデフォーマブルミラーで制御される。色素の流量は、発振器で毎秒0.06リッター、最終の増幅器で毎秒8.2リッターであり、その温度は発振器で±0.01m℃、増幅器で±0.1℃の精度で制御されている。現在このシステムによって、繰り返し数26kHz、CVL平均出力7kWにおいて色素レーザー平均出力2.5kWが得られており、この値は1984年の100倍以上である。このシステムのエネルギー変換効率は通常の運転条件で50-60%、また、ASEは出力の5%以下、波面について

は、波面補正前が約λ、波面補正後が約λ/4である。このような大規模で高性能なレーザーシステムの実現は、ウラン濃縮だけではなく、今後、安定同位体分離、超微細加工など種々の分野への応用が図られていくと考えられる。ヘンシュ型の周波数安定化色素レーザーは、共振器内の波長選択素子を同期して制御しなければならないため、その機構も複雑である。このような欠点を克服するため共振器長の短いグレージングインシデンス型の色素レーザーが提案されている。このレーザーでは共振器長を短くするために色素セルの代わりに色素ジェットを用いるものと従来の色素セルを用いるものの両者がある。前者は、共振器長が50mm 程度にまで短くできるため縦モード間隔が拡がり、その結果斜入射グレーテイングだけで1本の縦モードを取り出すことができる[3]。一方、後者は共振器内にビーム拡大器を設置してグレーテイングの照射面積を拡げている。前者のタイプのレーザーは周波数選択素子がグレーテイングのみであるため、ヘンシュ型に比べて構造は極めて簡単である。しかし、グレーテイングをグレージングインシデンスとしたため、光の損失が大きく発振の閾値が高い。このため、比較的高いポンピング強度が必要であり、また色素レーザーパルスの時間幅も短くなる。色素レーザーパルスの時間幅が短くなったことにより周波数幅も拡がり、単一縦モードで発振するもののその周波数幅は0.5-1GHz程度と周波数安定化ヘンシュ型色素レーザー発振器の10-20倍程度拡くなっている。このような共振器構造の色素レーザーは波長選択素子がグレーテイングのみであり、現在主流となっているヘンシュ型に比べて周波数制御が格段に容易になる。今後、それほど狭い周波数幅を必要としない場合には多く利用される可能性がある。

(2) 銅蒸気レーザー以外のレーザーによってポンピングされる色素レーザー発振器

濃縮用の色素レーザーに比べて一般のパルス発振色素レーザーの周波数安定化は遅れている。その最も大きな理由はエキシマレーザーや、YAGレーザーなどポンプレーザーの発振繰り返し数が低く、高繰り返し発振が可能な銅蒸気レーザーの場合のように比較的安価なアナログ技術が使えないことにあった。しかし、一般のパルス発振色素レーザーにも高い周波数安定性が求められるようになってきており、簡単に周波数安定化が可能な方法やモードの不安定性に関する研究が行われている。市販のパルス発振色素レーザーの周波数安定化を行うための装置はピンホール、ファブリーペローエタロン及びリニアCCDアレイより構成されている。この装置に発振繰り返し数20HzのYAGレーザーでポンピングされる斜入射タイプの色素レーザー光の一部を入射する。20ショットのレーザーパルスが平均化してデジタル化されて記憶され、解析が始まる。これによって最も大きな2個のピークが検出され、続くデータの値との差が0.002cm^{-1}である場合は周波数がシフトしたと判断してグレーテイング位置を調整する。この装置を用いることによって周波数安定性が0.105cm^{-1}から0.004 cm^{-1}と実用的にも十分な範囲にまで改善されている。この方法が適用できるのは斜入射タイプのパルス発振色素レーザーに限られるが、高い周波数安定性が容易に得られるのでより多くの分野へパルス発振色素レーザーの利用が進むことが考えられる。色素レーザーの大出力化では、一般にMOPA (Master Oscillator Power Amplifier) システムが用いられているが、電子ビーム励起エキシマレーザーのような低繰り返しポンプシステムについては、発振器のみで高出力化を図っている例もある。

エキシマレーザーはパルス当たりのエネルギーが高いので、比較的大きな面積をポンピング可能である。このため、高出力を得、かつ高品質のビーム得るためにジグザグ共

振器の研究が行われている。このレーザーはフッ化クリプトンレーザー(248nm)によってポンピングされるもので、色素レーザー光は、長さ14cm、幅2mmの色素のなかをジグザグに伝播し、増幅発振する。ポンプレーザーには、パルスエネルギー10J、パルス幅1700nsの電子ビーム励起のフッ化クリプトンレーザーを用いている。試験の結果ジグザグ色素セルは最大22%のエネルギー変換効率を持ち、通常のセルと比べても高い性能を持つことが明らかになった。さらに通常のセルではポンプパルスの後半で色素レーザーの出力が低下し始める現象がジグザグセルでは観測されず、この点からも高いエネルギー変換効率が得られることが分かった。さらに遠視野像の解析結果から、回折限界ビームの2倍の範囲内に約80%のエネルギーが存在し、極めて質の高いビームを得ている。発振器のみで大出力、高品質のレーザー光を得る方法は、システムが簡素化され安価に大量の光子を供給できるため加工などの分野に利用できる可能性がある。

(3) その他の色素レーザー

従来のレーザーは共振器内でレーザー光を増幅し、取り出していたが、色素溶媒に二酸化チタンのような粒子を添加することによっても低い発振閾値でレーザー発振が得られている。このレーザー発振はメタノールに溶かしたローダミン640にアルミナでコーテイングした平均粒径250nmの二酸化チタン(TiO_2)を色素濃度の約1%溶かしたもので、溶液はYAGレーザーの第二高調波でポンピングされた。二酸化チタンを添加した場合に観測される蛍光スペクトルは純粋な色素の場合より広く、560nmから720nmの広い波長域にわたっている。全波長域の出力を積分した値は、純粋な色素が低いポンプエネルギーで飽和する傾向を示すのに比べて、単調に増加する傾向を示している。さらに、発振周波数幅は、純粋な色素がポンプエネルギーでほとんど変化しないことに比べて、二酸化チタンを添加した場合は0.1J程度のエネルギーで大きく減少する現象が観測されている。これらの現象はまだ説明できないが、低い発振の閾値、広い発振波長域など極めて興味のある現象である。

1.2.固体レーザー

(1)チタンサファイアレーザー

チタンサファイアレーザーのここ数年の動向は、高出力化と短パルス化の2つに大別される。高出力化は、チタンサファイアレーザーが650～1000ｎｍの赤外域で波長可変であるため、レーザーレーダー（ライダー）への応用を目的として行われている。高出力化の方法としては、Q-スイッチNd:YAGレーザーを励起光源に使用したMOPAシステムが挙げられる。また、インジェクションシーディングによるライン幅25MHzの発生についても報告がある。

MOPAシステムでは、連続発振光をマスターオシレーターに用い、そこで発生するレーザー光を多段で増幅している。このシステムは、４段の増幅器と、励起用のYAGレーザーMOPAシステムで構成されている。YAGレーザーMOPAシステムから得られた繰返し数10Hz、出力4Jの基本波をKD*Pを用いて変換効率30%で波長532nmのレーザー光に変換した後に、Ti:Al_2O_3MOPAシステムの励起光源として用いている。可変波長範囲は、760～825nmであり、800nmにおける出力は380mJである。マスターオシレーターに、アルゴンレーザー励起Ti:Al_2O_3リングレーザーを用いて、シングルモードのレーザー光を増幅させることから、回折限界値の4MHzの周波数幅を得ている。入射光強度180mWでの第1段増幅器(4パス)のゲインは、3×10^5であり、トータルゲインは、2×10^7である。とりわけ、Ti:Al_2O_3結晶を励起する場合には、3J/cm^{2}以上の強度において

ホットスポットの問題が生じる。ホットスポットは、励起光の空間モードが不均一であることから生じ、この結果、増幅出力の低下や結晶の破損を引き起こす。このためRBPP(Random Binary Phase Plate)を用いて励起光空間モードを均一にした後に結晶に入射させている。空間モードは、楕円ガウシアン分布である。これは、Ti:Al_2O_3結晶の両端面がブリュースター角に加工されている為、両側励起による活性領域の断面が楕円形状に助長される為である。パルス幅は、1段目で得られる約20nsの増幅パルスに対して、2段目以降の励起パルスのタイミングを200nsずらす事によって、パルス幅の拡張を行い最終増幅段において115nsのパルス幅を得ている。

インジェクションロッキングによるシステムにおいては、マスターオシレーターに半導体レーザーあるいはシングルモードパルスレーザーを用いてシステムを構築している。10～100μWのシーディング入力によってスペクトル純度0.999を得ている。更に、パワーオシレーターでの強度は、励起光強度600mJにおいて200mJと30%の変換効率で発振させることが可能である。

波長可変レーザーの短パルス化については、1991年にSpenceらによってTi:Al_2O_3を用いた100フェムト秒以下のパルス発振に成功して以来、これまで使用されてきた色素に代って、ほとんどの短パルス化に関する実験はTi:Al_2O_3を用いたものにとって代られた。一般的に、Ti:Al_2O_3のフェムト秒パルスの発振には、出力10W程度のアルゴンレーザーが励起光源として用いられる。この為、モード同期パルスが約100MHzの発振繰返し数で得られ、更に固体素子であることから非常に安定な発振が得られる。この様に、従来の色素を用いた方法に比較して、安定性に優れ、過飽和吸収体を使用する必要がないために装置構成が簡素であることから、レーザーメーカー各社は製品として市販している。この中には、既にTW級の出力を有するレーザーシステムも含まれる。

Ti:Al_2O_3におけるフェムト秒パルスの発生方法は、カーレンズ効果を用いた方法(KLM)が一般的である。カーレンズ効果によって、モードロックパルスのピークは共振器内中の2個のプリズム間に挿入されたスリットを通過する。これに対して、CW光は、収束されない為にこのスリットを通過する事ができない。このスリットを用いることで、モードロックパルスのラウンドトリップにおけるロスを低減させ、かつスリットの移動によってチューニングを行う事ができる。しかし、このKLMでは、パルスの強度変調によって位相変化を生じさせるためにパルスのジッターが問題となる。このジッターはモード同期を不安定な状態にするので、安定なモードロックパルスを得るためには、励起光強度及びTi:Al_2O_3の出力強度において最適なスリット幅を選ぶ必要がある。

フェムト秒パルスの高出力化は、Mourouらによって提案されたチャープパルス増幅法(CPA)によって行われている。通常の増幅法では、固体レーザー媒質内部の自己収束によって媒質そのものを破損する為に、ピーク出力が制限されるからである。MourouらのCPAは、増幅器に入射させるパルスの幅を拡大し、増幅後に群速度分散を補償することによって再度パルスを圧縮させる方法である。この方法では、120fsのモードロックTi:Al_2O_3パルスをCPA法によって増幅し1.5TW、150fsのパルスを得ている。増幅器励起光源には、繰返し数10HzのQ-スイッチNd:YAGレーザー第2高調波を用いている。2ステージでのトータルゲインは、4×10^8であった。更に、ポストアンプの励起光源にエキシマーレーザー(KrF)を使用した実験では、130fs、1TWが得られている。この場合には、プリアンプで増幅されたパルスを第3高調波に変換し、これをKrFに入射させて増

幅を行っている。この際に、問題となるのは非線形結晶中の群速度のミスマッチである。一般的に変換効率を向上させる為には、結晶の長さを長くする必要があるが、短パルス光の波長変換に対しては、結晶を長くしてもパルスが延びるだけで変換効率は上がらない。この為に、2ωとωの入射光を遅延させて結晶に入射させることで結晶内の群速度によるずれを抑える必要がある。

CPA法において、パルス幅の拡大・圧縮を行う場合には、フーリエ限界に近いきれいなパルスが要求される。しかし、増幅過程は非線形であるので、スペクトルの狭帯化及びシフト、位相のひずみが起り、特にパルス幅の狭い場合には高次の位相ひずみを補償する必要がある。Bartyらの報告では、10Hz、30fs、4TWのパルスを得る為に、色収差及び球面収差を補償する為の特殊なストレッチャーを用いている。更に、1kHzの高繰返しで高出力フェムト秒のチタンサファイアレーザーの発振については、Walkerらの報告がある。彼等は、160fs、1.3mJのパルスを用いて実験を行った。今後は高出力化において、半導体レーザー励起のNd:YAGレーザーを励起光源に用いたシステムの開発が進むものと思われる。また短パルス化においては、10TW以上の出力をめざした開発が進められるようである。

(2)光パラメトリック発振

これまでの光パラメトリック発振では、励起光源にQ-スイッチNd:YAGレーザーの第2～第4高調波を用いて可視域～赤外域の範囲でパラメトリック発振を行ったケースが主であったが、最近の動向としてはモードロック$Ti:Al_2O_3$の開発の進展により、これを励起光源に使用して1.2～3μmのフェムト秒パルスを赤外域で発生させる実験が行われている。使用されている非線形結晶としてはBBOまたはLBOに代表されるように紫外～赤外にわたる広帯域で高い透過率を示すものを使う実験が多い。赤外域波長での発振にはKTPと同様な非線形感受率を有するRTAを使用した実験もある。

Reedらは、800nmのモードロック$Ti:Al_2O_3$をBBOを用いて第2高調波に変換した後に得られる400nmのパルスを、光パラメトリック用非線形結晶(BBO)の励起に用いている。これによって150fsのパルスが470nm～700nmの波長域で得られている。この波長域における出力は、約110nJである。これに対して、Reedらは、RTAを830nmのモードロック$Ti:Al_2O_3$パルスで励起し、変換光として得られた1.3μm近傍の光を更に第2高調波に変換することで28fsの可視域の光を得ている。

アルゴンレーザーを励起光源に用いたCWの光パラメトリック発振では、約15%の変換効率が得られた。非線形結晶に温度位相整合のLBOを用いているため、変換波長域は932～948nmと狭いがノンクリティカルな位相整合を用いているので、CWレーザーとしては高い変換効率が得られている。ライン幅は、約3GHzである。

BBOによるQ-スイッチNd:YAGレーザーの第2高調波励起の光パラメトリック発振において、noncollinearな位相整合を行う事で、変換効率を向上させている報告がある。この方法は、BBOのようにwalk-offが大きい結晶において、$e^{+}e^{-}\rightarrow o$のタイプ1の位相整合をとることで、このwalk-off効果を低下させることが可能になり、この結果、変換効率を高める事ができる。変換効率はcollinearな位相整合に比べて、2倍弱増加している。ライン幅3GHz以下の狭帯域広波長域発振の光パラメトリック発振システムは、既にコンテニュアムから製品化されている。発振波長域は、445～1175nmであり、更にこれらの基本波を第2高調波に変換する事で、230～350nmにわたる数mJの光を得る事

が可能である。

1.3. 半導体レーザー(外部共振器型波長可変単一モード連続発振半導体レーザー)

単一モード半導体レーザーは、超小型でキャビティー長が非常に短いことから、単一縦モード発振が容易であり、高分解能分光等の分野での利用が高まっている。波長の掃引法は、以前は半導体レーザーの温度を制御することで行われていた。しかし、波長の安定性や、波長掃引速度が遅い等の欠点があり、利用する側としては、使い易い物ではなかった。そのため、外部にグレーティングを設けた外部共振器型半導体レーザーの開発が行われている。これまでは、発振波長780nm,850nmなどの赤外領域おける半導体レーザーの開発が中心であったが、最近ではこれらに加えて670nmの赤色光半導体レーザーの開発も行われている。780nm半導体レーザーでの開発では、J.J.Makiらが、Littrow方式の外部共振器型波長可変半導体レーザーを試作している。このレーザーでは半導体レーザーの光をグレーティングに入射し、グレーティングからの戻り光によりフィードバックをかけている。しかし、半導体レーザー素子の出射面にARコーティングを施しておらず、半導体レーザー素子自体でレーザー発振するため、厳密な意味での外部キャビティー型レーザーではない。波長掃引は、グレーティングの傾き、位置をピエゾ素子により制御することで行う。グレーティングは1800line/mmを用い、このグレーティングの0次光の光量は全体の75%であり、これをレーザーの出力光としている。このレーザーでは、連続掃引で10GHzの波長掃引に成功している。出力は、15～35mWである。また、2台の半導体レーザーのビート信号をディジタル化し、ディレイジェネレーターを通してフィードバックを掛けるオフセットロッキングにより100kHzのライン幅を実現している。

S.N.Atutovらは、やはりLittrow方式の外部キャビティーを用いて、発振波長670nmの半導体レーザーの単一モード発振に成功している。彼らは、単一モードを得るために、半導体素子自体をエタロンとして用いている。ただし、波長掃引するときは、グレーティングをピエゾ素子で動かすと同時に、エタロンとしての半導体素子のキャビティーも変化させなければならず、彼らはこれを半導体に流す電流を僅かに変えることで行っている。このような方法によって18GHzの連続掃引に成功している。出力は3mWである。

上述した外部キャビティー型半導体レーザーはLittrow方式であるが、波長を掃引する場合グレーティングを動かすために、出射光の光軸が変わるという欠点がある。この欠点を解決するのがLittman方式の外部キャビティー型半導体レーザーで、New Forcus社により開発された。グレーティングの他にミラーを1枚用いて外部キャビティーを構成し、波長掃引はミラーを動かすことで行う。この方式では、スペクトル分散が狭いため、エタロンなしで、単一モードの発振が得られる。この方式ではモーターを用いてミラーを動かすことにより10nm以上の波長掃引が可能であるが、ピエゾ素子による60GHzの連続掃引ができ、また、掃引繰り返しが200Hzと高速掃引が可能である。出力は670nmの半導体レーザーで～5mWである。外部キャビティー型半導体レーザーはLittrow方式、Littman方式があるが、安定した波長掃引という観点からはLittman方式が有利と思われる。しかし、いずれも出力が低く670nm半導体レーザーでは数mW程度であり、高出力化が最大の課題である。また、発振波長の短波長化も大きな目標となっている。

2.レーザーの原子力応用

原子力の分野においては、他産業と比べて特殊環境下での作業が多いことからレーザーの持つ特殊な機能を利用しようとする機運は強い。しかし、現在のところレーザーが大規模に実用化されている分野はなく、まだ研究段階であるといえる。各分野別に概観すると以下のようになる。

2.1.燃料/材料

（1）原子法レーザー同位体分離

原子レベルでの同位体スペクトルシフトを利用して、可視域或いは紫外領域の波長可変レーザーを用いて同位体のみを多段階共鳴光電離しイオンを回収することによって同位体を回収する方法である。特にウラン濃縮をターゲットにして工業レベルにまで進展している。プラントレベルではkW級の波長可変レーザーが必要となりこのために発振器と多段の増幅器よりなるダイレーザーが開発されている。さらにこうした大出力のダイレーザーを駆動するために必要となる高出力、高繰り返し可視ポンプレーザーとして銅蒸気レーザーが開発されている。ローレンスリバモアでは１台当たり約８００Wが、またわが国では５００Wが実現している。さらに将来の光源としてポンプレーザーとしては銅蒸気レーザーより効率が高く、コンパクトで長寿命の半導体励起固体グリーンレーザーが、また、波長可変レーザーとしては液体を使用せずに単純な構成となるチタンサファイアレーザーなどが開発されている。本方法はウランに限らずほとんど全ての原子に適用可能である。Gdは燃料中に混入して燃焼率の均一化を図るための可燃性毒物として用いられるが、酸化ウラン中への固溶は高い比率では起こりにくい。このため、今後燃料の濃縮度を上げてより燃焼度を上げて経済性を上げようとする場合には多くのＧｄを混入しなくてはならなくなるが、同位体を用いることが出来れば容易にこの問題を解決することが出来る。また、放射化しないLi同位体は冷却材のｐＨ調整のために用いられているが、Liの濃縮は従来の水銀アマルガム法が環境安全の立場から使用できなくなったためにレーザーを用いる新しい方法が検討されている。ZrはAlとの合金として核燃料の被覆管材として利用されているが、もし中性子吸収断面積の大きい同位体を除去することが出来れば、中性子経済性の高い炉内材料が出現することとなる。このような元素の分離には一般的に可視域から紫外域にかけての高出力波長可変レーザーが不可欠であるため、短波長化のための波長変換技術も重要となっている。

（2）分子法レーザー同位体分離

UF6分子の振動レベルで発生する同位体スペクトルシフトを利用して、波長可変赤外レーザーで多光子解離させ、解離した分子を会合させることによって回収するもので高パルスエネルギー、高繰り返しの赤外波長可変レーザーが必要となる。赤外領域では色素を利用できないので波長可変のためには水素ラマンレーザーが用いられている。しかしラマンレーザーを駆動するためのポンプレーザーであるTEA炭酸ガスレーザーはそのままでは、離散的にしか波長を変化できないために、連続波長可変とするには、高圧で作動させるか、或いは酸素混合同位体で発振するするTEACO_2レーザーの開発が必要となる。こうしたレーザーの繰り返し数を上げたり信頼性を高めたりするための努力は、わが国や南アフリカなど分子法レーザーウラン濃縮を推進している国が進めているだけで、一般的な研究開発はあまり成されていない。

また、この方法はウランに限らず主として軽元素の同位体分離に容易に適用される。原子法でも述べたように種々の同位体が必要となるが、分子法では、炭素や珪素等の同

位体分離が適しており、これらはトカマク型核融合装置の内壁コーティング等に利用されることが期待される。また、将来の核燃料として検討されているチッ化物燃料には窒素の同位体を用いることが必要である。これらはまだ大量の分離検討が成されていないが、基礎研究が進展している。

2.3.原子炉

（1）原子炉補修

たとえばPWRの蒸発缶細管部分に応力腐食割れなどによりピンホールなどが発生した場合、或いは長期間運転した結果応力腐食割れの危険性が発生しそうな場合に、細管部分を交換したり外したりすることなく修復を行い、放射線被曝をなくしつつ安全に作業を行うことが可能となる。実例としては浜岡原子力発電所で行われた細管クラッディングがある。２kW程度のカスケード発振を行うYAGレーザー光を0.6mm直径のファイバーにより配管修復部分にまで伝送し、ファイバースコープで観察しながらクラッドする物質を塗布或いは吹き付け全周をレーザー光で表面溶融しクラッディングを行う。高品質、高出力YAGレーザーの他、特殊なビームディリバリーシステム、検出システムが必要となる。

（2）水中プランクトン焼死処理

原子力発電所では冷却水の配管に付着するフジツボ等の付着性生物が配管抵抗を増すために大きな問題となる。付着したものを除去することも容易ではない。そこで、こうした生物の幼生をレーザー光を用いて焼き殺すことが考えられている。これらの幼生は夏の期間海中に発生するので、この期間に限り冷却水の入り口でレーザー光を照射することになる。水中において用いることからグリーンのレーザー光が有効である。こうしたことから高出力Arイオンレーザーで試験が行われたことがある。しかし、効率が悪く実用的なシステムとはなりにくい、高出力で高繰り返しのグリーンレーザーとして銅蒸気レーザーや固体レーザーのＳＨＧビームが注目されている。

（3）表面処理

原子炉で用いる材料は高い信頼性を得るために、加工後は表面において常に圧縮応力が残留するように表面処理されるが、この処理に水中でのレーザー照射を利用すると極めて効果があるとされている。これには水中で吸収減水されにくいグリーン光を発生するものとして銅蒸気レーザー光が用いられる。銅蒸気レーザーは繰り返しが高くピーク出力が高いために、水中におかれた加工物体の表面を高速で掃引処理することが可能である。レーザー光で照射された部分では衝撃波が発生しこの反力で加工物表面に圧縮応力を残留させることが出来る。

（4）計測

原子炉建家内の安全モニターの観点からファイバーを用いた温度計の使用が試験されている。また、原子炉中で発生する中性子をヘリウム吸収させることにより一種の核励起レーザーを構成し、原子炉の出力特性を計測する工夫も行われている。

2.4.使用済み燃料再処理

（1）使用済み燃料解体

燃料棒よりなる燃料集合体は現在のところ機械的な専断により破断処理されているが、機械の故障や汚染などの問題があり、レーザー光による遠隔加工が望まれている。レーザー自体は現状のYAG,CO,CO_2レーザーなどが数kWのものが利用できるが、ビームディリバリーなどの技術開発が必要である。このような技術は、技術実証の後、安全

性などを総合的に判断して実用に移されることとなるのでその道のりは長い。

一方将来商業導入が期待されている高速増殖炉の使用済み燃料解体の場合、高速増殖炉独特のラッパー管の切断がある。この部分はNa液体金属の流動上必要とされるもので、ステンレス製である。軽水炉燃料のようにジルカロイでないために、機械破断方式では、刃こぼれなどが生じ、寿命も短い。このために、レーザー光を用いた切断が有効となる。既に、わが国では動燃において10kW炭酸ガスレーザー光による加工試験が進められている。

（2）使用済み燃料原子価数調整

現在再処理の化学処理工程ははピューレックス法と呼ばれる湿式法で行われている。この方法では、化学薬品を用いるために放射線による劣化が激しく、こうして劣化したものをさらに処理するための化学機材も廃棄物を発生し、大量の二次放射性廃棄物を発生するのでレーザー光を用いたプロセスの改良が望まれている。さらに再処理を終えた高レベル廃棄物の処分については、極めて長寿命の核種である超ウラン元素と比較的短寿命であるその他の放射性元素とを分類しながら分離するいわゆる群分離への適用も先端的な技術として考えられている。このような技術により廃液中に含まれる有用元素を分離して活用することも可能となる。このような技術の中核となるのは光による酸化還元すなわち価数調整である。エキシマレーザーなどが用いられる可能性があるが、廃液中には極めて多くの元素種が含まれているために、現在のところ分離プロセスを構築するための提案や基礎試験が行われている程度である。１９７７年にGangwerが提案した共除染、ウラン/プルトニウム分離、精製等の工程を実証していく方法が採られている。

（3）再処理廃液分析

再処理廃液そのものや施設周辺における環境測定のための極微量分析が重要である。パルスレーザー光を共鳴吸収させることによって発生する音響波を検出すれば極めて微量成分の検出が可能となる。この目的には波長可変レーザーが用いられる。

2.5.廃炉

（1）デコミッショニング（構造物）

原子力発電所の耐用年数は３０年程度とされており、今後2020～2025年にかけて廃炉措置を受ける発電炉が相次いで出現する。わが国では、原研において試験炉として用いられた小型の原子炉の解体試験が行われたが、今後大型の原子炉を解体するには、安全にかつ廃棄物を出さないようにするために、レーザー光の利用が考えられている。炉内構造物としては、ステンレス管、５００mm程度の板厚があるクラッドステンレス製の圧力容器、コンクリート構造物などがある。厚い板厚のものを切断するには５０ｋW以上のレーザーが必要になろう。レーザー出力を高くすることばかりではなく、切断対象物体に良く吸収される波長のレーザーが必要となる。炭酸ガスレーザーは出力は高いもののビームのディリバリーに適したファイバーなどが無いことや対象物への光の吸収が小さいので波長のより短いCOレーザーやヨウ素レーザー或いは高出力YAGレーザーなどが期待されている。炭素光やステンレス光においては炭酸ガスを一酸化炭素レーザーに代えれば吸収効率は７％に、またYAGに置き換えると一酸化炭素レーザーよりもさらに１０％程度上昇する。コンクリートに対してはCO_2に比べてCOレーザーは２倍以上の吸収率を有する。場合によっては放射性物質の飛散を防止できるので水中での切断が必要とされることもあり、ウオーターカーテンの技術や水中に吸収されにくいグリー

ンの高出力レーザーの出現も望まれる。

（2）コンクリート表面劈開（表面除染）

コンクリート表面をレーザーで加熱すると、照射に伴う急速な水分蒸発・熱膨張などによって表面の破砕や剥離が発生する。このような工法では、コンクリートに対する吸収率の高い波長を用いることと高出力のレーザーを用いることが必要となる。

上述したレーザー設備は大型となることが予想されるが、トレーラー程度で可搬出来ることが望ましいが、対象物の極近くに設定することは出来ないのでビームディリバリーが重要な要素となる。

2.6.新エネルギー

核融合は将来の原子力エネルギーであるが、磁場閉じこめにしても慣性核融合にしろレーザーは重要な役割を演じる。

（1）トカマクプラズマ追加熱

トカマク型装置を用いた熱核融合の研究では最近米国プリンストン大学でのTFTR装置でのトリチウム燃焼実験が行われ、加熱入力とプラズマ出力のバランスにはまだ遠かったものの核融合反応を大規模に実現した。今までの実験では、加熱入力を増加させるに従いプラズマ閉じこめ性能が悪くなる現象が知られている。これを回避するにはECRH（電子サイクロトロン共鳴加熱）を用いて局所的に電子加熱を行いプラズマディスラプションを制御する必要のあることが分かった。トカマク型での磁場強度が数テスラであることを考慮するとECRHの周波数は１００ＧＨｚ程度となる。米国のローレンスリバモア研究所ではこれをマイクロ波領域で発振する自由電子レーザーを用いて実施し、140GHz,2GWの発振光を用いた試験を行いマイクロ波の吸収を調べ、プラズマの安定性を損なうことなく、高い出力まで追加熱が可能であることをうかがわせた。

（2）レーザー核融合ドライバー用レーザー

エネルギーゲインは、ドライバー用のレーザーの効率を１０％、発電効率４０％とすると、１００以上が必要となる。このためにはエネルギー4MJ、パルス幅10ns、ピーク出力400TWの紫外領域波長ビームが必要となる。半導体励起固体レーザー、エキシマレーザー、自由電子レーザーなどが検討されている。

（3）プラズマ中電子温度計測

トカマク型プラズマの診断においてはとりわけトムソン散乱を利用した電子温度の測定が重要である。電子との散乱は極めて小さいので、強力なレーザーが必要となる。これにはルビーレーザーが利用される。トカマク型装置においてはプラズマの空間的及び時間的分布を知ることが重要であるために、イメージ解析装置と組み合わせた計測装置が開発されている。

１．１世界の現状

１９８４年にローレンスリバモア研究所（LLNL)とプリンストン大学プラズマ物理研究所(PPPL)で、それぞれ独自に電子衝突励起法と再結合励起法により波長20.6nmと18.2nmの軟X線の自然放出光の増幅が確認されて以来[1,2]、すでに１０年が過ぎた。その間、この二つの方式を中心にしてX線レーザーの短波長化と高効率化が追及されて来たが、未だに実用的なX線レーザーは実現されていないのが現状である。しかし、最近になって、新しい励起法の成功や従来法の大幅な効率の改善が報告されるようになり、X線レーザーの研究は第二段階に入りつつあるように思われる。特に、超短パルス高出力レーザーを用いた高強度光電離（ＯＦＩ：Optical-Field-Induced Ionization）方式の出現は、励起レーザー自体の急速な進展と相まって、実用的なX線レーザーの実現への期待を抱かせるものである。

ここでは、ＯＦＩ　X線レーザーを中心に、各励起方式の特徴と研究の現状を紹介する。

（1）ＯＦＩ X線レーザー

レーザー光の電場による直接電離を用いたＯＦＩ方式では、レーザー光の波長や偏光により電子温度を広い範囲で制御できるため、その電子温度に応じて、二つの励起法すなわち再結合法と電子衝突法が研究されている。

再結合方式のＯＦＩX線レーザーは、他の方法に比べて、いくつかの優れた特徴を有している。第一には、基底状態への遷移において反転分布の形成が可能な点であり、従来の励起準位間の遷移を用いる方式に比べ、非常に短い波長での動作が可能となる。例えば、従来の方式の再結合プラズマ法でレーザー遷移が得られるBalmer-α遷移（ｎ＝３－２）比べて、Lyman-α遷移（ｎ＝２－１）の波長は約５分の１であり、光子エネルギーは約５倍である。このことは、この方式が短波長化、高効率化に適したものであることを示している。第二には、この方式で励起レーザー源に必要とされるのは、エネルギーではなく短いパルス幅と高いピークパワーであるため、従来の励起方式と比較して必要な励起エネルギーを非常に小さくできる点があげられる。

理化学研究所（理研）の緑川等は、従来から提案されていたＯＦＩ法[3-5]に工夫を加えた新方式により、初めてＨ様LiイオンのLyman-α遷移において軟X線（波長13.5 nm）の増幅を実現した[6]。この１３．５ｎｍ　Lyman-αレーザーの原理を図１-1に示す。励起には、パルス幅０．５ｐｓでエネルギー５０ｍＪのＫｒＦエキシマレーザーをもちいており、利得長積は４ではあるが、小信号利得は２０cm^{-1}と大きな値が得られている。図１－２に利得長を変えたときに観測されたスペクトルの変化を示す。

この方式では、超短パルスレーザーの入射に先んじて、低強度のKrFエキシマレーザーを固体リチウムターゲットに照射し、Li^{+}プラズマを生成する。Li^{+}のようなイオン化ポテ

ンシャルの大きいプラズマ媒質を用いることにより、超短パルスレーザーの媒質への進入が理想的に行えることに加えて、不必要な電子加熱を抑制することが可能になった。さらに、はじめに生成した低温プラズマの電子温度は、超短パルスレーザーの照射によっても、ほとんど変化しない。このため、非常に低い電子温度をもつ多価イオンプラズマが実現された[7,8]。

一方、最近、スタンフォード大学（Stanford University）のハリス（S. E. Harris）等[9]は、波長800 nmでパルス幅は40 fsのチタンサファイアレーザーを円偏光でＸｅガス中に集光照射することにより、ＯＦＩ方式で高温プラズマを生成し、生成した高温の電子による衝突励起で波長 41.8 nmの増幅を得ることに成功した。この方式においても励起レーザーエネルギーは小さく、わずか70 mJである。図１-３にレーザー媒質であるXe^{8+}のエネルギー準位の概略を示す。また、図１-４に観測されたスペクトルを示す。ＯＦＩ方式でプラズマを生成する場合、プラズマの電子温度は、励起レーザーの波長の自乗に比例するとともに、偏光に大きく依存する。このため電子衝突法のように高温の電子を必要とする場合には、チタンサファイアレーザーのような長波長のレーザーを円偏光で用いるのが有効である[10]。

（２）細管放電励起

前述のようなレーザー励起に対して、コロラド大学（Cororado Univrsity)のロッカ（J. J. Rocca）等[11]は、内径４mm、長さ１２cmのポリアセタール細管（キャピラリー）内での放電により、Ｎｅ様Ａｒの$J=0-1$線、波長48.6 nmでの増幅に成功した。このときの利得係数は0.6 cm^{-1}で、利得長積は7.2に達した。この装置と放電長を変化させたときに観測されたスペクトルを、それぞれ図１-５[12]および図１-６に示す。放電のピーク電流は39 kAで、パルス幅は60 nsである。この主放電に先立ち、約10Aの電流で予備電離を行っている。主放電が進展し、電流が増加するにともない自己磁場によるピンチを起こし、直径200 μm程度の細長いプラズマコラムが形成される。増幅が起こるのは、この磁場よるプラズマの圧縮が最大になるときで、電流のピーク直後である。この方法での短波長化は、困難であると思われるが、レーザー励起に比べると、装置は簡単で効率も２桁以上は良く、実用的価値は非常に高いと考えられる。

（３）従来法

電子衝突励起法は、LLNLを中心に最も研究が進んでおり、理論面でもレーザーの動作特性を良く再現できるようなシミュレーションモデルもできるまでになっている。現在の研究の中心は、コヒーレンスや偏光などのビーム特性の改善と効率の改善である。特に、後者の励起効率に関しては、パルス幅の短い励起レーザーによるダブルパルス照射[13-15]や湾曲ターゲット[16]の導入、進行波励起[13,17]の採用などにより、従来の単純な長パルス照射に比べて大幅に改善されてる。

再結合励起法では、長い間、１９８４年のPPPLでのH様CのBalmer-α線（波長18.2

nm）の増幅[2]を上回る成果は得られなかった。しかし、最近、ラザフォード（Ratherford）研究所で直径７μmのファイバーターゲットをエネルギー20 Jでパルス幅２ピコ秒の短パルスガラスレーザーを照射することによって、ついに利得長積（gl）で６を得た[18]。この結果は、照射レーザーのパルス幅を短くすることによって、プラズマの膨張を均一にするとともに冷却もより効果的に起こるためであると考えられる。gl値が４を大きく上回ったことは、大きな進歩で今後の展開が期待される。

ここでは、X線レーザーの最近のトピックスをいくつか紹介した。とかく、どの方式が有望なのかという議論になりがちではあるが、従来の可視や紫外域のレーザーがそうであるように、それぞれの方式に一長一短があり、一つの方式ですべての応用分野を満たせるわけではない。高繰り返し動作に適したものがあれば、高エネルギー動作に適したものもあり、また、短波長動作に適した方式もある。ただ、ＯＦＩ法や細管放電法の成功は、X線レーザー研究が必ずしも大型の装置を必要としないことを示しており、今後の研究のすそ野を広げるのに大きな役割を果たすものと思われる。

１．２　日本の現状

国内でのX線レーザーの研究は、大阪大学レーザー核融合研究センター（阪大レーザー研）、東京大学大物性研究所（物性研）、理化学研究所（理研）、電子技術総合研所（電総研）の４研究所を中心に行われている。以下に、それぞれの研究所における特徴と研究の現状を記す。

阪大レーザー研では、核融合研究用に開発した大型のガラスレーザーを用いた電子衝突法を中心に研究が行われている。この電子衝突法では、比較的高いプラズマ密度の領域で反転分布が生成されるため、X線レーザー光の屈折が問題となる。そこで、そのようなプラズマによる屈折を補償するため、あらかじめビームの屈折に合わせて曲げられた湾曲ターゲットが提案された[16]。Ｎｅ様Ｇｅレーザー（波長１９．６ｎｍ，２３．６ｎｍ）による実験では、平面ターゲットに比べレーザー強度で約１０倍の増加がえられ、ビーム発散角は約１／２以下（１ｍｒａｄ以下）に減少した。また、パルス幅１００ｐｓの短パルス励起では、レーザー光を３００～４００ｐｓ間隔で複数個照射することにより、２０倍以上励起効率の改善がなされた。

物性研では、X線レーザーに関する研究を目的として、フェムト秒のテラワット級チタンサファイアレーザーとピコ秒の高出力ガラスレーザーが開発されている。前者は、主にＯＦＩ方式による電子衝突励起を目指しており、後者は通常のプラズマ再結合方式を指向している。

理研では、サブピコ秒のＫｒＦエキシマーレーザーを用いて、世界に先駆けてＯＦＩ方式でのX線レーザーの増幅を確認した[6]。わずか５０ｍＪの励起エネルギーで、H様Ｌｉのｎ＝２－１遷移（波長１３．５ｎｍ）で２０ｃｍ$^{-1}$もの利得が得られている。理研方式の特徴は、初期媒質として低強度のレーザー照射によって生成されたプラズマ媒質を用いているところにあり、これによって単純なＯＦＩ法にくらべて、非常に低い電子温度を

実現している。また、通常のガラスレーザーを用いた再結合方式では、１００ｐｓのパルスを３００ｐｓ間隔で複数個もちいるパルス列照射により、数Ｊの励起エネルギーでＬｉ様Ａｌの３ｄ－５ｆ，３ｄ－４ｆ遷移（波長１０．６，１５．５ｎｍ）で利得を観測している[19]。

電総研では、核融合研究様に開発している大型の電子ビーム励起ＫｒＦエキシマレーザーを増幅器として用いて、ピコ秒パルス照射による再結合方式が研究されている。すでに、１０ｐｓパルス幅で、１ビームあたり４Ｊのエネルギーが得られている。これを６ビームあわせて線状集光し、水素様イオンによる短波長のX線レーザーを実現する計画である。

X線レーザーの研究は、通常のガスや固体レーザーに比べると、励起レーザーや計測装置が非常に高価であるため、国内の大学の一研究室で行うには予算的に非常に困難である。また、企業レベルでの研究が、ほとんどないのも現状である。

参考文献.

1 D.L.Matthews et.al.:Phys. Rev. Lett. 54,110(1985).

2. S.Suckewer,C.H.Skinner,H.Milchberg,C.Keane,andD.Voorhees:Phys.Rev.Lett.55,1753(1985).

3. N.H.Burnett and P.B.Corkum: J. Opt. Soc. Am. B6, 1195(1989).

4. N.H.Burnett and G.D.Enright: IEEE J. Quantum Electron. QE-26, 1797(1990).

5. P.Amendt, D.C.Eder, andS.C.Wilks: Phys. Rev. Lett. 66, 2589(1991).

6. Y. Nagata, K. Midorikawa, S. Kubodera, M. Obara, H. Tashiro, and K. Toyoda: Phys. Rev. Lett. 71, 3774 (1993).

7. B. M. Penetrante and J. N. Bardsley: Phys. Rev. A 43, 3100 (1991).

8. Y. Nagata, K. Midorikawa, S. Kubodera, M. Obara, H.Tashiro, and K. Toyoda: Phys. Rev. A (in press).

9. B. Lemoff, G. Y. Yin, C. L. Gordon,III, C. P. J. Barty, and S. E. Harris: (unpubished).

10. B. E. Lemoff, C. P. J. Barty, and S. E. Harris: Opt. Lett. 19, 569(1994).

11. J. J. Rocca, V. Shlyaptsev, F.G. Tomasel, O. D. Cotazar, D. Hartshorn, and J. L. A. Chilla: Phys. Rev. Lett. 73, 2192(1994).

12. J. J. Rocca, O. D. Cortazar, B. Szapiro, K. Floyd, and F. G. Tomasel: Phys. Rev. E 47, 1299(1993).

13. L. B. DaSilva, R. A. London, B. J. MacGowan, S. Mrowka, and D. L. Matthews: Opt. Lett. 19, 1532(1994).

14. J. Nilsen, BJ. MacGowan, L. B. DaSilva, andJ.C. Moreno: Phys. Rev. A, 4682(1993).

15. H. Dido, et al.: Proc.4th Int. Colloq. X-Ray Lasers (AIP, New York 1994).

16. Y. Kato, R. Kodama, H. Daido, K. Murai, G. Yuan, D. Neely, and A. MacPhee: Proc.4th Int. Colloq. X-Ray Lasers (AIP, New York 1994).

17. J. C. Moreno, J. Nilsen, L. B. DaSilva: Opt. Commun. 110, 585(1994).

18. J. Zhang, et al.: Proc.4th Int. Colloq. X-Ray Lasers (AIP, New York 1994).

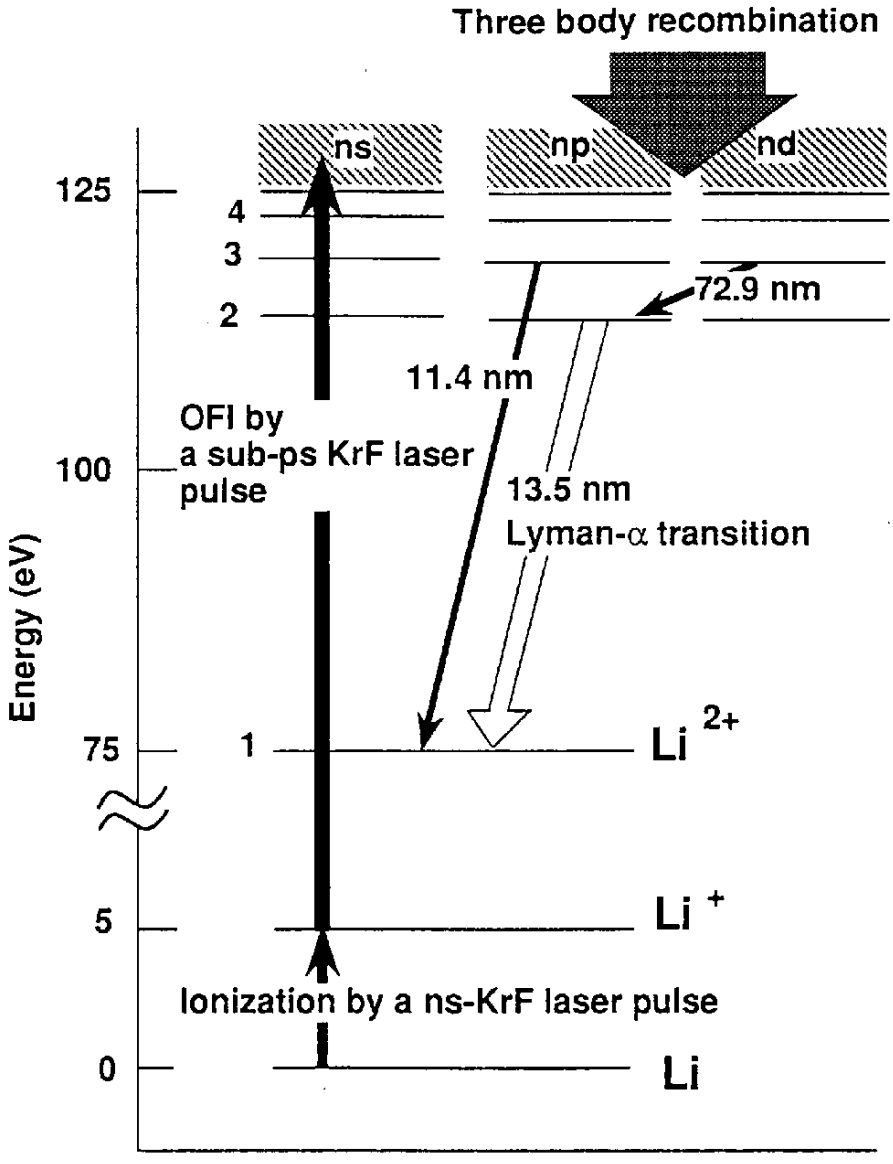


図１－１　H様Liイオンによる13.5 nm Lyman-α レーザーのエネルギー準位

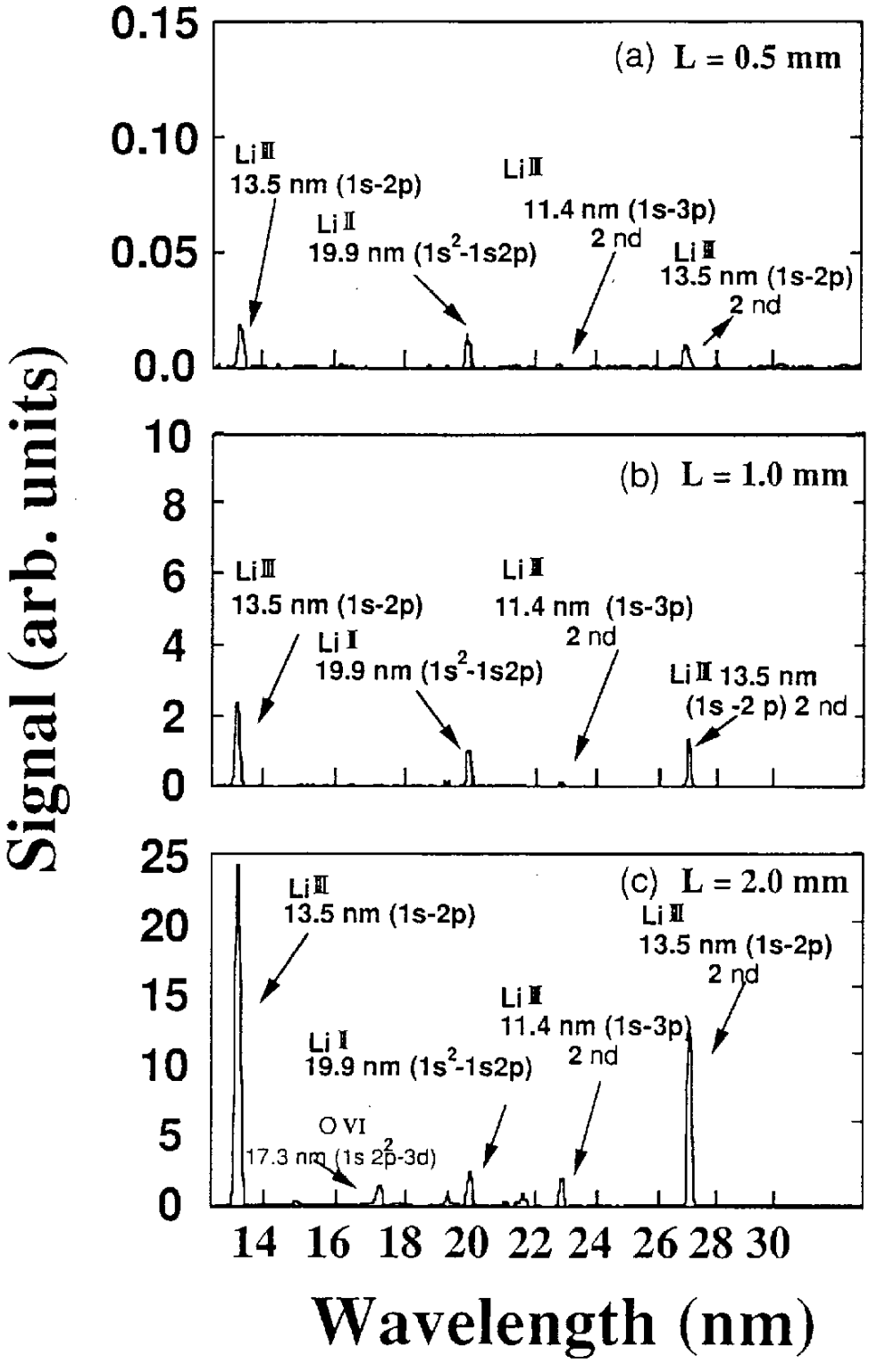


図１－２　プリプラズマ長を変化させたときに観測された
軟Xスペクトル

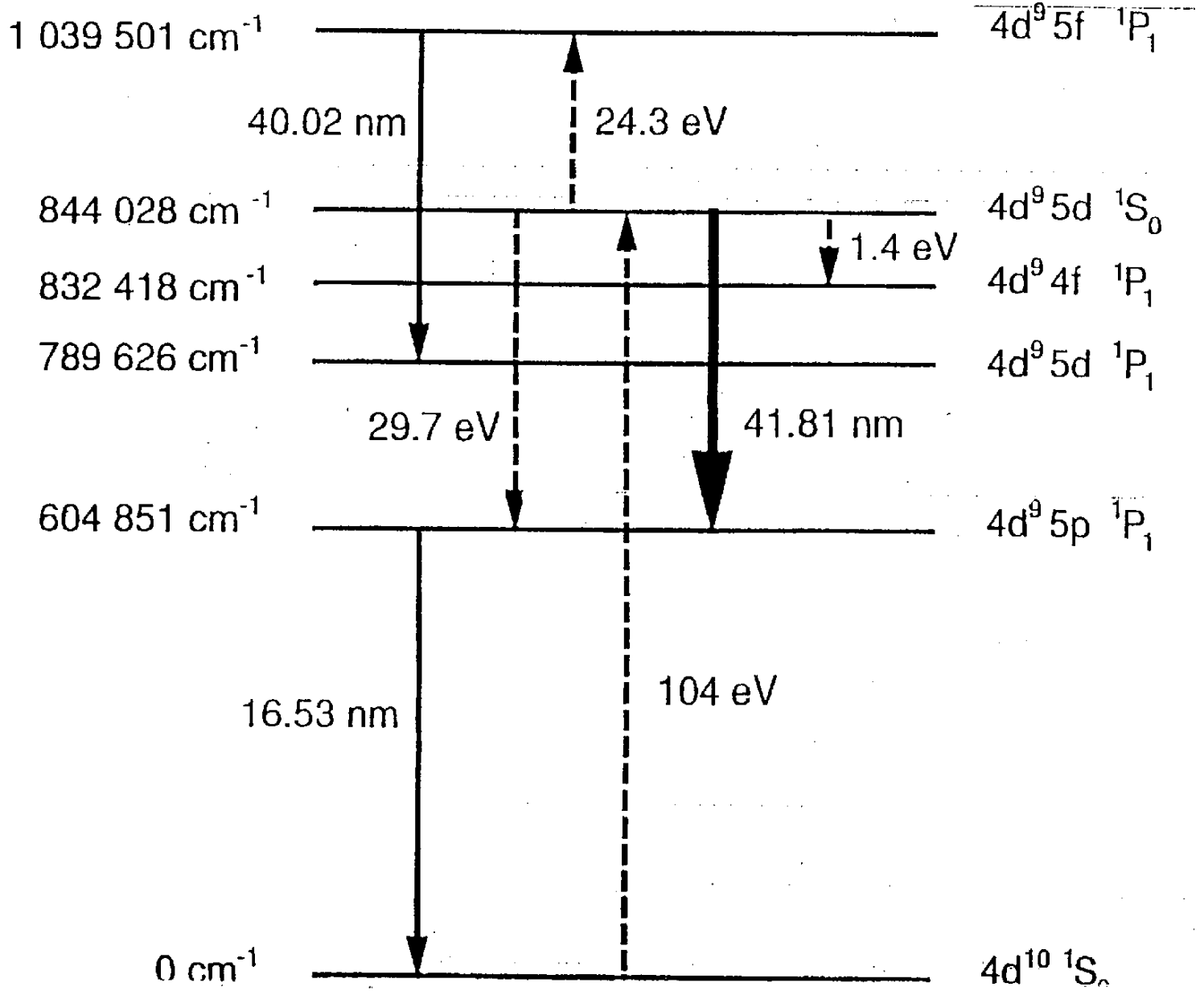


図1－3　41．8－nm　Xe^{8+}レーザーのエネルギー準位

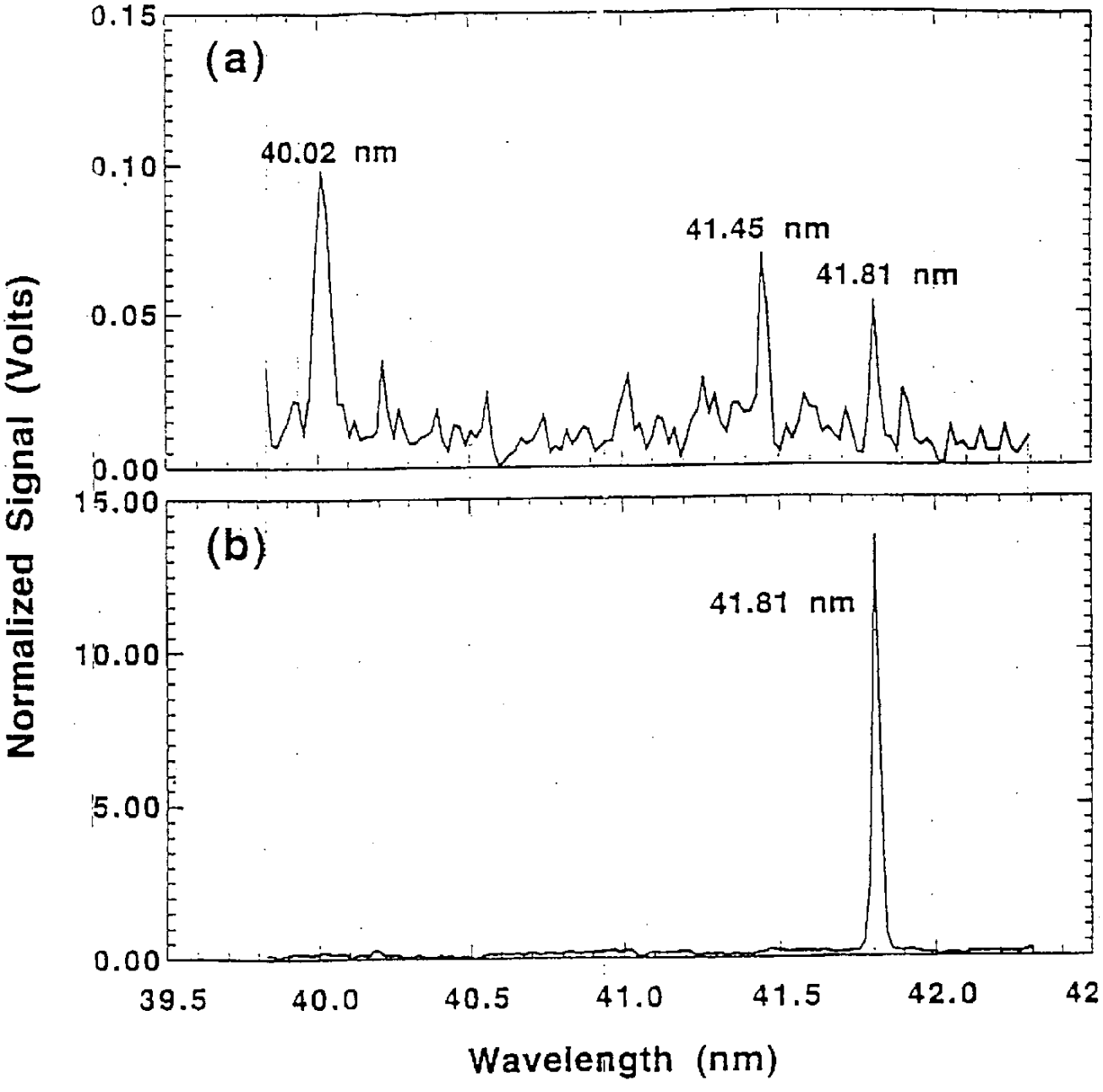


図１－４　Ｘｅガス圧力を変化させたとき観測されたスペクトル
（ａ）３ｔｏｒｒ　（ｂ）１２ｔｏｒｒ．

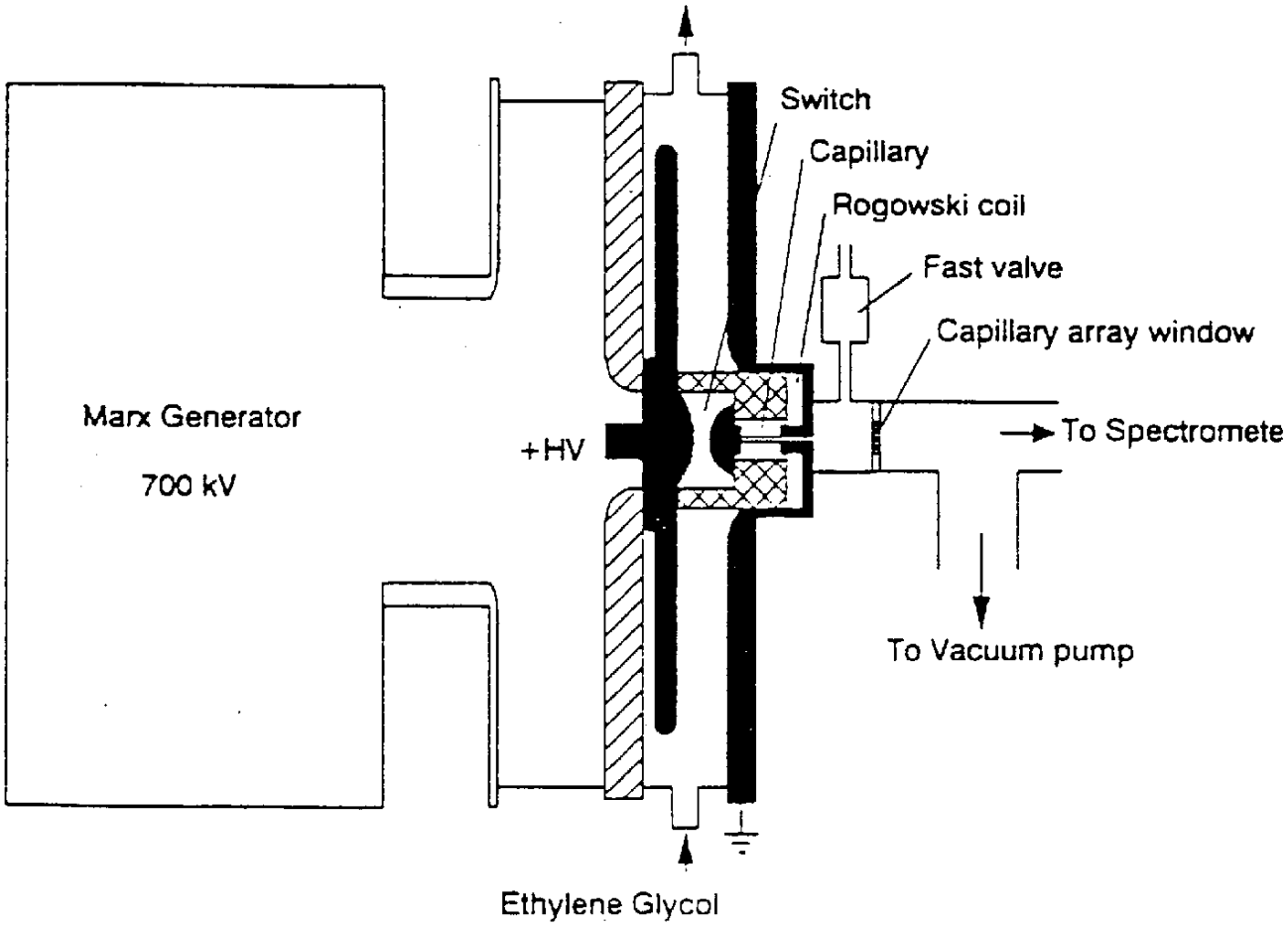


図１－５　キャピラリー放電励起軟X線レーザー装置

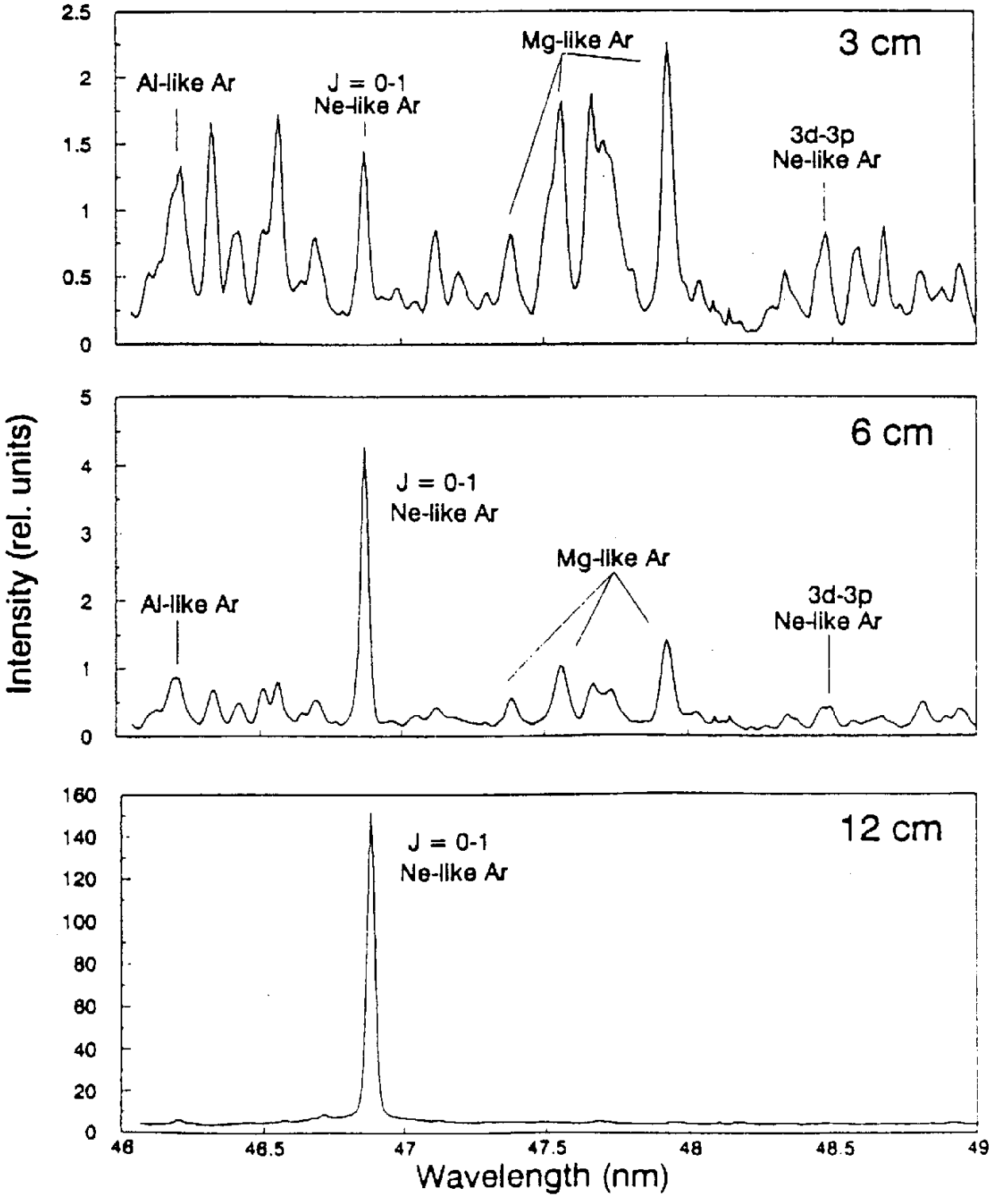


図１－６　放電長を変化させたときに観測されたスペクトル

１．２．１　「レーザー溶接」

レーザーの有する制御性の良さに注目した溶接への研究・開発が始められて四半世紀が過ぎようとしている。この間　国内・外を問わず様々な検討がなされ、その中のいくつかは生産ラインに使われ、今日に至っているものもある。

ここではその中のいくつか代表的なものを紹介しながら、レーザー溶接に関する現状について述べたい。

１、溶接用熱源としてのレーザー

レーザーによる溶接は板厚としては１ｍｍ以下の薄板から、最近では２５ｍｍ以上の厚板まで色々な研究がなされている。

溶接用として使用されるレーザーは殆どＹＡＧレーザーと炭酸ガスレーザーとに限定される。

特に厚板側では大出力が必要となるため、最近では２５～４５ｋｗ級の炭酸ガスレーザーが一部の研究機関で使用されている。

一方ＹＡＧレーザーは炭酸ガスレーザーに比べると現状では出力が小さく効率も悪いがカスケードタイプにすることで２～５ｋｗのものが市販されており、特にファイバーを通す利点を活かしロボットに搭載されて使用されたり、放射能が懸念される原子力の無人補修溶接に使用されたりしている。

溶接用熱源としてみた場合のレーザーを、現状では溶接用として最も広く使われているアーク溶接法と比較してみると概ね次のようになろう。尚ここではアーク溶接法としてＭＡＧ溶接と比較してみた。

表－１　溶接用熱源としてのアークとレーザーの比較

比較項目	MAG	レーザー
１．高速化	○	◎
２．スパッタ	△	△
３．ヒューム	×	△
４．加工精度	△	○ （溶接用として精度が良過ぎる場合がある）
５．ギャップ，目違い許容範囲	○	× （溶加材を併用する等の工夫が必要）
６．イニシャルコスト	◎	×
７．安全性	○	△ （特に眼に対する安全対策が必要）
８．メンテナンス	○	△

〔判定基準〕　◎；かなり優位　○；優位　△；やや劣　×；劣

上表で示したように溶接用熱源としてのレーザーは特に高速化、高精密化の用途に適していることが分かる。現在レーザーが採用されている生産現場も国内・国外を問わずこのような特性を活かしたアプリケーション例が多い。

２、レーザー溶接の研究開発からみた世界の現状

世界的にみてレーザーを用いた研究・開発が最も盛んな地域は米国、欧州そして日本の３極である。

（１）米国

米国では１００W以上のレーザーを用いたアプリケーションのうち溶接への適用率は４０％以上と多く、現状１０％以下である日本のそれを圧倒している。1）

しかしながらその内容をみると自動車工業を始め板厚３～４ｍｍ以下の比較的薄い板の溶接を２ｋｗ程度までのレーザーで溶接しているのが殆どであり、それ以上はＥＢに頼っているのが現状である。

次に具体的な研究の内容についてみてみたい。

実際には複数台のレーザーを組み合わせたり、ガントリーロボットシステムにして能率を高めようとしている研究もある。2）

この他の研究として、

レーザー溶接を行った場合に合金成分の蒸発量に酸素や硫黄がどのような影響を及ぼすかの研究、3）

減圧下で高出力レーザー溶接を行った場合の溶け込み量の傾向を調査したもの、4）

またレーザー溶接の実用的な方法として角溶接、突き合わせ溶接、すみ肉溶接、重ね溶接、エッジ溶接法について検討を行ったもの、5）

レーザーによって仮付け溶接する場合の変形量を最小にするにはどうすれば良いかについて検討したもの、6）

レーザースポット溶接の場合の応力分布に関する調査、7）

レーザー溶接の場合のエネルギー伝達効率を測定したもの、8）

レーザー溶接時の溶融池の流れについて解析したもの、9）

実際に溶接を行った後の溶接部硬さ分布を測定したもの、10）

あるいは溶接後の疲労特性を調査したもの、11）12）がある。

実際のアプリケーションの検討例をみてみると、航空産業に組み込まれるギヤの溶接をＥＢ溶接と比較したもの、13）

高速溶接時に発生しやすい欠陥を調査しそれらがあらかじめ予測出来るか否かについて調査したもの、14）

ステンレス鋼をレーザー溶接しその時の溶接速度とフェライト量を調査したもの、15）また同じステンレス鋼シートのレーザー溶接を行った結果を報告したもの、16）

高Ｍｎステンレス鋼のレーザー溶接を行いその合金元素の減少量と組織変化について調べたもの、17）

またステンレス管をレーザー溶接する場合の方法について調査したもの、18）

パルスレーザーを行う場合の異材を含む溶接性の試験法について調べたもの、19）

インコネル６００を供試材とした場合の溶接条件の影響を調査したもの、20）

チタン合金のレーザー溶接を調べたもの、21）22）23）

Ｎｉクラッド鋼のレーザー溶接の可能性を調査したもの、24）

自動車へのレーザー溶接を適用した場合の例について報告したもの、25）

製缶や極薄物の溶接にレーザーを応用した例、２６）２７）
等など様々な研究・開発が行われている。

また最近の米国の技術雑誌をみるとチタン合金またはその異材、あるいはクロモリ鋼とステンレス鋼の異材の溶接にレーザーを使った例や、２８）１３４）
高温割れ緩和の目的でオーステナイト系ステンレスの溶接に１０Ｈｚ以下のパルスレーザーを用いた例、２９）等がある。

また特異な例として水中でのレーザー溶接を想定した研究、１３２）

スポット溶接とレーザー溶接との疲労特性を比較した研究、１３３）等がある。

（２）欧州

ドイツに限らず欧州に於てはレーザーによる材料加工に関するプロジェクトが数年前より行われている。その代表例がいわゆるユーレカ計画やブライト計画と呼ばれるもので、これらのプロジェクトの中にレーザー溶接に関する検討プログラムがある。

特にこのプログラムの中核をなす研究機関の一つであるフラウンホーファー研究所の所長Ｄｒ．Ｈｅｒｚｉｇｅｒのグループでは厚板を対象とした大出力レーザーの開発とそれにより実際に高速溶接を行った場合の結果と凝固シミュレーションのモデル解析、溶接部の品質保証等について活発な研究がなされている。
３０）

この他研究開発が特に活発な欧州の研究機関としては英国・ＴＷＩ、ドイツ・シュツットガルト工科大学、アーヘン工科大学、ハノーバーレーザーセンター、フランス・ＳＡＦ等がある。

次に具体的な研究・開発の例をいくつか紹介する。

レーザービームによる新しい圧接方法を提唱しているもの、３１）

線材の点溶接にレーザーを採用した例、３２）

薄肉ステンレス鋼管の溶接を２～３ｋｗ程度のレーザーで溶接し、その溶接部について確認したもの、３３）４２）

自動車の溶接へのレーザーの適用についての最新情報について調査した例、
３４）

オーステナイトステンレスと炭素鋼の異材溶接にレーザーを適用した場合の各種要因とその影響について調べた例、３５）

タンタル、ニオブ、ジルカロイのような金属をレーザー溶接し、その性能を調

査したもの、３６）

アルミニウムのレーザー溶接を行い、その凝固組織について調べたもの、３７）３８）

良好な溶接部を得るにはどのような特性を有するビーム特性が良いかについて調べたもの、３９）

溶接部の信頼性が特に必要となる核燃料部品、原子炉制御棒の溶接をレーザーとＥＢで行った場合の比較、４０）４３）

低合金鋼のレーザー溶接部について海水に対する耐蝕性を調査した報告、４１）

レーザー溶接したオーステナイトステンレス鋼について溶接金属ミクロ組織と腐食挙動について調査したもの、４４）

薄肉炭素鋼板をレーザー溶接し、その冶金的見地から調査を進めたもの、４５）

高降伏強度鋼や構造用鋼を大出力レーザーで溶接し、その性能評価を行ったもの、４６）５０）６１）

自動車に良く用いられる亜鉛メッキ鋼板についてレーザー溶接し、その溶接部評価を行ったもの、４７）また自動車車体を製作する場合にレーザー溶接を適用検討を行った例、４８）

各種板厚にレーザー溶接を行った場合の溶接速度と溶け込み深さの関係や溶け込み深さに及ぼすプラズマの影響について調査したもの、４９）

レーザービーム溶接中の熱の流れ挙動について調査したもの、５１）

フィラーワイヤを用いてレーザー溶接を行った場合の冶金学的検討を行ったもの、５２）５３）

レーザー溶接中の湯流れについてモデル化の検討を行ったもの、５４）５５）

様々な溶接部にレーザー溶接を行った場合のアーク溶接と比較検討したもの、５６）

減圧下でのレーザー溶接部の溶け込み深さについて調査したもの、５７）

レーザー光の金属面での吸収現象について金属とレーザー光との相互作用に着目した研究、５８）

光ファイバーを用いたＹＡＧレーザーによる溶接を行い、焦点距離、パルス数等への影響を調査したもの、５９）６２）

ＹＡＧレーザーを用いた特殊材料への適用可能性を検討したもの、６０）

等などオリジナリティの高いものが多い。

2、レーザー溶接からみた日本の現状

日本に於ても最近は欧米に勝るとも劣らず質・量共研究開発が盛んに行われるようになってきた。

日本で実際の製造ラインにいち早くレーザーを導入したのは一部（トヨタ他）自動車メーカーであり、主としてサイドパネルの薄板高速溶接を行っている。

このようなレーザー溶接の現状について概要を紹介したものも多い。６３）～６７）１１７）

これらをみても自動車への適用例が他を凌駕している。

溶接時の諸条件（出力、ビームモード、焦点距離等）が溶接特性に及ぼす影響について研究した例も数多い。６８）～７２）７９）９０）９１）

異材継手への適用を検討した例としてステンレス鋼と銅の重ねスポット溶接を行ったもの、７３）

またＹＡＧレーザーによりスポット溶接を行い、その挙動を調査したものもある。７４）

一方大出力ＹＡＧを開発し、またＹＡＧを光ファイバーとも組み合わせそれを溶接へ適用した報告もある。７５）７６）８３）

またＹＡＧの用途開発の一つとしてはんだ付けシステムを作り、その結果を報告したものもある。７７）

特異なものとして溶接時に発生する音に着目し、その特性を調査したものもある。７８）

構造物への適用を考え、１０ｋｗ炭酸ガスレーザーを用い５０ｍｍｔといった厚板を多パスでレーザー溶接する試みがなされている。８０）～８２）

一方、有限要素法によるレーザー溶接の溶け込みを理論的に解析したものもある。８３）８５）

また製鉄薄板ラインの薄板同士の溶接にレーザーを適用したアプリケーション例もある。８６）１１９）

前述のようにレーザーを自動車の製造ラインに適用した代表例としてトヨタの例があるが、その実際の状況と性能の紹介を報告したもの、８７）１１８）
また表面処理鋼板のレーザー溶接を行った報告がある。８８）８９）

一方レーザー溶接がアーク溶接に比べると概ね冷却速度が大きくステンレス鋼の場合の脆化温度域を早く通り過ぎるために脆化が起こりにくいことからステンレスの薄板や管のレーザー溶接を行い、その特性を調査したものも多い。９２）

９４）～９８）

またガスタービンやスチームタービンにレーザー溶接を行った結果報告もある。９３）

最近になって米国に於て燃費について規制したブライアン法案に端を発した自動車の軽量化対策の一貫としてアルミニウム合金にレーザー溶接を適用すべく検討した報告も多い。９９）～１０６）１２２）～１２８）

また特殊な材料へのレーザー溶接の適用を試みた例として形状記憶合金への適用例、ジルカロイ、銅合金、ＦＲＭ等への例がある。１０７）～１１４）

溶接ではないがレーザーを熱源とする新しいろう付けを行う方法を検討したものもある。１１５）１１６）１２１）

一方、レーザーの有する特徴を活かしたアプリケーションとして原子力ＳＧ管の補修溶接を無人で行うべく、ファイバーを２００ｍ以上伸ばした全自動のＹＡＧ溶接システムを用いて実用化した例もある。１２０）

これはレーザービームの持つ特性をうまく使った現状ではまだ数少ないアプリケーション例であると言えよう。

また最近ではレーザー溶接時に付帯して起こるプルームや付着すす等の特異な現象に着目した研究例も多い。

以上述べたような研究・開発内容をみるとレーザービームの特徴を活かしたものが次第に多くなって来つつあり、レーザー機器の価格低減化傾向と反比例してレーザーならではのアプリケーションが今後も増える一方で、アーク溶接とのテリトリーの住み分けが進むものと思われる。

以上

文献リスト

1) P. E. Denny, L. I. A. Vol. 69 ICALEO 85
2) R. Bakish, LAMP' 87 p511−516
3) P. Sahoo, Metallurgical Transactions vol. 19 no. 13 p967−972
4) C. O. Brown, Welding Journal '86. no. 7 p48−53
5) D. C. Benett, Welding Journal '90 no. 10 p52−54
6) R. D. Dixon, Welding Journal '88 no. 1 p31−32
7) L. Weeter, Materials Evaluation 45 '87 no. 3 p353−357
8) T. H. Kim, Journal of Laser Applicat−ion '90 no. 1 p23−28
9) A. Paul, Metallurgical Transactions '88 no. 12 p851−858
10) E. A. Metzbower, Welding Journal '90 no. 7 p272−278
11) S. J. Gill, Welding Journal '86 no. 2 p48s−50s
12) Charles E. Albright, J. of Laser Application '90 no. 8 p26−32
13) D. K. Wills, Welding Journal '88 no. 12 p38−41
14) Charles E. Albright, J. of Laser Application 年号不詳 p157−163
15) John M. Vitek, CISFFEL '88／9 p369−376
16) R. K. Holbert, Welding Journal '87／8 p21−25
17) A. A. Khan, Welding Journal '88／1

p1s－7s
18) D. Havrilla, Welding Journal '90／10 p55－58
19) L. A. Weeter, Welding Research Supplyment '86／3 p51－62
20) G. J. Bruck, ICA (Proc. of ICALEO) '85／11 p287－296
21) W. A. Baeslack, Scripta Metallurgica '88／8 p1155－1160
22) P. E. Den, Welding Journal '89／8 p342－346
23) W. A. Baeslack, Scripta Metallurgica '89／5 p717－719
24) Phillip A. Newsome, Proceedings of LAMP '87 p193
25) Y. C. John Peng, ibid p657－660
26) C. M. Sharp, Welding Journal '88／1 p25－28
27) A. C. Lingenfelter, ibid p211－216
28) P. S. Liu, Welding Journal '94／7 p175s－181s
29) H. N. Bransch, Welding Journal '94／6 p141s－151s
30) G. Herziger, ジョイテック '92／8 p37－43
31) Gerd Sepold, Proc. of LAMP `87 p151－156
32) L. Dorn, ECLAT`90 p751－762
33) J－M Signamarcheix, LAMP`87 p205－209
34) C. J. Dawes, LAMP`87 p523－533
35) V. P. Kujanpaa, J. of Laser Applicati－on `90／spring p24－30

36) Aubert, Proc. CISFFEL `88/9 p95-104
37) T. C. Zuo, ECLAT`90 `90/9 p671-680
38) C. A. Binroth, Power Beam Technology `90/9 p119
39) M. Zierau, ECLAT`90 `90/9 p789-798
40) J-M Couturier, CISFFEL `88/9 p467-474
41) P. Jacqvot, CISFFEL `88/9 p407-415
42) D. Cortinovis, CISFFEL `88/9 p869-876
43) J-L Boutes, CISFFEL, `88/9 p459-466
44) L. Fedrizzi, 4th International Colloquim on welding and Melting by Electrodes and Laser Beam `88/9 p417-424
45) L. Devillers, LYON `89/9
46) M. Hill, Power Beam Technology `90/9 p108-118
47) Rehan Akhter, J. of Laser Applicati-on `91/4 p9-20
48) Ralf Inhoff, Welding and Cutting `88/9 pE143-E144
49) J. P. Gaufillet, CISFFEL `88/9 p395-398
50) Manfred Hendricks, CISFFEL `88/9 P385-393
51) Joe-Do Kim, CISFFEL `88/9 p175-181
52) V. Bilthey, Power Beam Technology `90/9 p69-78
53) M. Geiger, ECLAT`90 p689-699
54) M. Davis, Welding Research Supplime-nt `86/7 p167-174

55) G. Molino, ECLAT`90 p195−205
56) A. S. Salminen, ICALEO`89 p75−83
57) Dias, LAMP`87 `87／5 p637−640
58) M. Schellhorn, Conference on Lasers and Elctro−optics `87／4 p7
59) J−Y Gascoin, CISFFEL `88／9 p105−112
60) Robert Schley, CISFFEL `88／9 p885−892
61) C. L. M. Ireland, Laser Focus and Electro Optics `88／11 p49−64
62) J−Y Gascoin, LAMP`87 `87／5 p113−118
63) 白須ら、マシニスト 32巻 6号 p60−63
64) 石田、レーザー研究 `88年6号 p3−10
65) 重松ら、応用機械工学 `87年10月 p70−79
66) 宮崎ら、マシニスト `88年6月 p64−69
67) 橋浦、ジョイテック `90年6月 p88−93
68) 橋浦、ジョイテック `90年7月 p96−101
69) 牧野ら、ジョイテック `89年5月 p29−33
70) 平本ら、LAMP`87 `87年5月 p157−162
71) 伊藤ら、雑誌名不詳 `87年 s383号、川鉄技報他
72) 佐野ら、LAMP`87
73) 中部応用レーザー研究資料 JT−90−1
74) 渡部ら、ジョイテック `90年1月 p60−66
75) 木村、溶接技術 `88年8月 p68−70
76) 名倉ら、溶接学会全国大会講演概要 47集 `90 p134−135
77) 小松ら、東芝レビュー `88 p433−436
78) 吉岡、ジョイテック `90年7月 p76−81
79) 山田ら、溶接学会全国大会講演概要 46集 `90 p118−119
80) 荒田ら、JWRI `86 15巻2号 p27−34
81) 安田ら、CANNES `88年9月 26巻30号

８２）荒田、ＩＣＡＬＥＯ　`８６年１１月
８３）鷲尾、溶接技術　`９１年１１月　ｐ７５－８２
８４）浜田ら、ＬＡＭＰ`８７　`８７年５月　ｐ３１－３６
８５）著者不詳、第５回ＪＷＳ国際シンポジウム　`９０年４月　ｐ７６３－７６８
８６）弦田ら、鉄と鋼　`８６年１０月　ｐ３９７
８７）杉浦ら、ジョイテック　`９０年１２月　ｐ２４－２８
８８）井上ら、ＣＡＭＰ－ＩＳＩＪ　`９０年　３巻６６５号
８９）朝田ら、材料とプロセス　`９０年１０月　３巻
９０）木村ら、ＬＡＭＰ`８７　`８７年５月　ｐ１６９－１７４
９１）小菅ら、日本鋼管技報　`８６　１１２号　ｐ１５－２０
９２）荒井ら、ＬＡＭＰ`８７　`８７年５月　ｐ２２１－２２６
９３）安田ら、ＬＡＭＰ`８７　`８７年５月　ｐ５６１－５６５
９４）新沼ら、ＣＡＭＰ－ＩＳＩＪ　`９０年１０月　ｐ４８２
９５）９６）９８）ＫＯＳＯ、第５回ＪＷＳ国際シンポジウム　`９０年４月　ｐ６６３－６６８
９７）新沼、ＣＡＭＰ　`９０年３月　ｐ５４１
９９）平本ら、ＣＩＳ`８８　`８８年９月　ｐ４２５－４３２
１００）益本ら、第５回ＪＷＳ国際シンポジウム　`９０年４月　ｐ２３－２８
１０１）片山ら、第５回ＪＷＳ国際シンポジウム　`９０年４月　ｐ６２１－６２６
１０２）片山ら、溶接学会全国大会講演概要　`９０年４月　ｐ１１４－１１５
１０３）片山ら、溶接学会全国大会講演概要　`９０年４月　ｐ１１６－１１７
１０４）本多、ジョイテック　`９０年９月　ｐ７６－８３
１０５）牧野ら、溶接学会全国大会講演概要　`９０年１０月　ｐ１６６－１６７
１０６）片山ら、溶接学会全国大会講演概要　`９０年１０月
１０７）広瀬ら、ＪＷＳ　`９０年４月　ｐ６８７－６９１
１０８）石丸ら、ＣＩＳ`８８　`８８年９月　ｐ４３３－４４０

１０９）荒木ら、第５回ＪＷＳ国際シンポジウム　`９０年４月
ｐ６８７－６９２
１１０）橋本ら、Ｊｏｕｒｎａｌ　ｏｆ　Ｌａｓｅｒ　Ａｐｐｌｉｃａｔｉｏｎ
`９１　ｐ２１－２５
１１１）岡本ら、ＬＩＡ　`８９　６９巻　ｐ３７－４２
１１２）久保ら、溶接学会全国大会講演概要　４７集　`９０
ｐ１２２－１２３
１１３）奥村ら、溶接学会全国大会講演概要　４２集　`８８
ｐ１５４－１５５
１１４）片山ら、溶接学会全国大会講演概要　４７集　`９０
ｐ１７２－１７３
１１５）宮本ら、ＬＡＭＰ`８７　`８７年５月　ｐ２３７－２４２
１１６）宮本ら、ジョイテック　`９０年１月　ｐ５０－５５
１１７）上野、マシニスト　`８８年６月　ｐ５７－５９
１１８）岩井ら、ＬＡＭＰ`８７　ｐ５１７－５２２
１１９）伊藤ら、ＣＩＳＦＦＥＬ　`８８年９月　ｐ８６１－８６８
１２０）横山ら、第５回ＪＷＳ国際シンポジウム　`９０年４月
ｐ２９－３４
１２１）三浦ら、レーザー研究　`８８年１２月　ｐ８４７－８５５
１２２）青田ら、溶接学会全国大会講演概要　５４集　`９４年４月
ｐ９０－９１
１２３）松本ら、溶接学会全国大会講演概要　５４集　`９４年４月
ｐ９２－９３
１２４）森部ら、溶接学会全国大会講演概要　５４集　`９４年４月
ｐ９４－９５
１２５）１２６）芳野ら、溶接学会全国大会講演概要　５４集　`９４年４月
ｐ９６－９７
１２７）山岡ら、溶接学会全国大会講演概要　５４集　`９４年４月
ｐ１００－１０１
１２８）片山ら、溶接学会全国大会講演概要　５４集　`９４年４月
ｐ１０２－１０３
１２９）宮本ら、溶接学会全国大会講演概要　５４集　`９４年４月

p８２－８３
１３０）樽井ら、溶接学会全国大会講演概要　５４集　`９４年４月
p８６－８７
１３１）黄地ら、溶接学会全国大会講演概要　５４集　`９４年４月
p８８－８９
１３２）G. J. Shannon, Welding Journal '９４／７　p１７３s－１７４s
１３３）P. C. Wang, Welding Journal '９４／９　p２０９s－２１７s
１３４）Zheng Sun, Welding Journal '９４／４　p６３－７０

1．2．2レーザ技術の半導体応用

1.1 レーザリソグラフィ技術

半導体技術分野におけるレーザ応用として、このところ実用化に向って着実な進歩があるのはエキシマレーザを使ったリソグラフィ技術である。より微細なパターンをシリコンウェハ上に焼き付けるために、従来のi線(365nm)からKrF(248nm)、ArF(193nm)などの短波長光を使った高解像度露光技術の開発が進んでいる。エキシマレーザリソグラフィは光学系の技術だけでなく、位相シフト法などのマスク技術、高解像度レジスト、反射防止膜などの材料技術が全体として進歩することによって、完成度が高められている。既に学会レベル(1994年秋の応用物理学会)では日立中研より、KrFエキシマレーザ光源により、位相シフトマスクとアジド系高解像ネガレジストの併用で、0.13μmパターンの形成、焦点深度1μmの達成が報告されている。また、1994年6月ハワイで行われたVLSIテクノロジーワークショップにおいても、ベルギーのIMECより最小加工線幅として0.18μmパターンの加工が必要となる集積度1ギガビット(Gb)DRAM(半導体メモリ)では、KrFエキシマレーザ露光の本格導入が行われると予測している。現在の半導体開発の状況を見ても既にその兆しは現れている。

64Mbit DRAMの、第2世代版は加工線幅0.32～0.30μmなので、NEC、東芝、韓国の三星等は、i線(365nm)を用いた通常露光と超高解像技術を考えているが、日立、富士通、三菱電機等は、KrFエキシマレーザ(248nm)、ArFエキシマレーザ(193nm)露光技術を導入したい意向である[1]。今後の露光技術における加工寸法と半導体メモリ(DRAM)の集積度予測によれば露光技術がi線から、i線＋超解像技術、KrFエキシマ、KrFエキシマ＋超解像技術、ArFエキシマ＋超解像技術へ移行することが予想される[2](図1-1)。

したがって、今後は、エキシマレーザリソグラフィを量産技術として検討していく必要がある。エキシマレーザリソグラフィのプロセス技術は、i線と比較した技術の完成度[3]が問題である。エキシマレーザリソグラフィシステムの中で、光源、レンズシステム、レジスト材料等のうち、レジスト、レジスト及び基板からの反射の問題が大きな技術的課題となっており、これらを解決することがKrFエキシマレーザリソグラフィの確立につながる。

KrFエキシマレーザリソグラフィ用のレジストとして、化学増幅型レジストが本命視されている[4]。その理由は、露光により発生した酸が触媒として多くの反応を誘起するため、高

感度化しやすいからだ。もうひとつは、ポリマの選択の幅が広く、KrF光に対して透明性の高いポリマが使えることである。

化学増幅型レジストでは、露光のみではポリマ系の反応は起こらず、露光後の加熱によって初めて反応が起こる。従って、化学増幅型レジストでは、露光後の加熱により反応制御をすることになる。64M DRAMクラスの場合、0.35μmのパターニングを行おうとすると、露光後の加熱温度は0.3℃以内の制御が要求される[4]。もう一つの問題は、基板からの光の反射である。これは、パターニング精度を著しく劣化させる主原因であり、一般に短波長化に伴い、反射率は大きくなる。そのため、その抑制・制御がKrFリソグラフィによる微細加工の主要課題の一つになっている。基板からの光の反射を抑える手法として、種々の反射防止膜技術が既に提案されている。

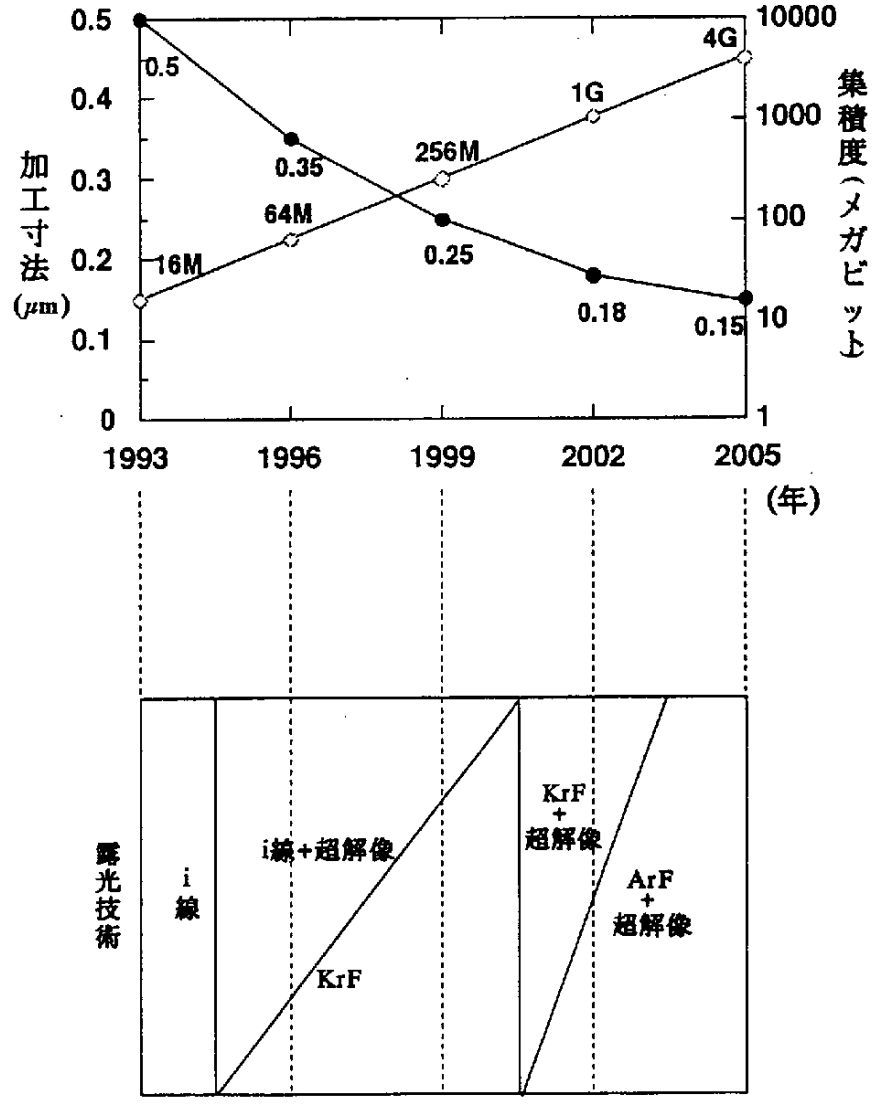


図1-1　リソグラフィー技術の動向

1.2 レーザアブレーションCVD,レーザ結晶化技術

KrF系エキシマレーザアブレーションによる強誘電体膜の形成が最近盛んに研究されている。特に応用物理学会での発表件数は多い。これは、これからの半導体不揮発性メモリやDRAMのキャパシタとして高い誘電率をもつ強誘電体が注目されているためで、$SrTiO_3$,$PbTiO_3$,$Ba_xSr_{1-x}TiO_3$系の材料の研究が行われている。最近、液晶ディスプレー(LCD)用薄膜トランジスタ(TFT)の高性能化やLCDの駆動回路をガラス基板上へ集積化することを目指して、アモルファスシリコンのレーザアニールによる多結晶Si(poly-Si)TFTの研究が盛んになっている。この場合も光源はKrFエキシマレーザが多用されている。この分野での利用が本格化すれば、エキシマレーザにとっては大きな市場が拓ける。

1.3 レーザ直描CVD

Ar^+イオンレーザを用いたメタルのレーザ直描CVDは、LSI配線リペアなどに実用化されている。最近、Nd:YLF(525nm)パルスレーザ光をAr^+イオンレーザCW光と併用して、ポリサイド上にメタルラインを直描する技術が開発され、Pt,Au,Cu,Mo,WなどのCVDが実現された。この技術を用いて多層のポリサイド/Cu配線マルチチップモジュール(MCM)基板のCu配線修正などに利用できることが示された[5]。

直描レーザCVD技術が3次元CVDの方向に向っているのは、最近の興味深い傾向で、これはマイクロマシンへの応用、他のCVD技術では対応できない構造を作れるなど、技術的にも独自性をもっているためといえる。

実際、1994年秋のアメリカMRS Meetingでは、ドイツのStukeら[6]がAr^+レーザビームを2本に分けて直交させ、ビーム交点でのCVDによりAl_2O_3のフリースタンディングワイアを形成した例を報告した。3-30μm直径の3次元形状Al_2O_3ロッド上に更に通常の熱CVD法でメタルをコーティングすれば、導電性も与えられる。

1.4 レーザ散乱法による微粒子計測

半導体製造装置内で、エッチングやCVDによる加工中に、反応ガス生成物により0.1μm～0.3μmの超微粒子が発生する。これはLSI不良の原因となり近年、インプロセスで超微粒子発生を計測したり、その発生を抑制する研究が盛んとなり、半導体レーザやAr^+レーザによるMie散乱、Reyleigh散乱を利用した微粒子計測装置の開発実用化が進められている。コン

パクト化し易い半導体レーザが広く用いられているが、in situ 計測のためのAr^+レーザの利用も拡大すると考えられる。

文献

1) 長弘　恭明、望月　洋介、"「i線」対「KrFエキシマ」0.3μm解像を巡る攻防激化"、日経マイクロデバイス、1994年9月号、pp.86-98.

2) 岡崎　信次、"0.3μmリソ/量産技術の選択"、月刊セミコンダクターワールド、1994年6月号、pp.70-71.

3) 直理　修久、河村　栄一、及川　朗、渡部　潔、"0.3μmリソ/量産技術の選択-Deep UV/プロセス技術の完成度-"、月刊セミコンダクターワールド、1994年6月号、pp.83-90.

4) H. Ito and C. G. Willson,"Applications of photoinitiators to the design of resists for semiconductor manufacturing", ACS Symposium Series, 242:11,(1984).

5) N. Nassuphis et al. "Three-dimensional laser direct writing : Applications to multichip modules", J. Vac. Sci.Technol. B12 (6) (1994) 3294.

6) O. Lehmann and M. Stuke, "Three-dimensional laser direct writing of electrically conducting and isolating microstructures", Materials Lett. 21 (1994)131.

１．２．３　化学応用

１）世界の現状

レーザーが登場して以来すでに３０年が経過したが、この間の化学応用分野での大きな流れは、表に示すように丁度前半と後半の１５年間に大別される。すなわち、６５年から８０年頃までは、赤外レーザーによる結合選択反応の探索と多光子解離反応の体系化、および赤外・紫外可視レーザーによる超高速／超高感度／高分解能分光による基礎化学での研究が中心であった。レーザーの出現前からレーザーが化学反応に活用されれば、化学反応が思いのまま制御できる"molecular surgery"が可能になるだろうと期待された。ところが、実際には、選択励起はできても、必ずしも結合選択反応とはならず、レーザーの単色性を活用する化学応用としては、同位体分離しか進展しなかった。しかし、基礎化学としての化学分析・計測法でのレーザーの寄与は画期的なものであり、化学反応制御、反応機構、構造化学などでの研究から多大の成果が得られ、レーザー光化学の基礎が確立された。現在でもレーザー装置の進展と共に躍進している研究分野である。特に、極短パルスレーザーの開発により、コヒーレンス性を化学反応ダイナミックスに活用する新たな化学反応制御法への挑戦が近年開始されている。この課題での先駆者はカリフォルニア工科大学のZewailであり、彼の命名によりフェムト秒化学（Femtochemistry）が生まれ、装置・システムの開発と相俟って欧米での研究が世界をリードしている。

一方、産業技術を目指すレーザー化学応用分野の課題が活発化し始めたのは、エキシマレーザーの登場による８０年代になってからであった。既にわが国で開発された基礎化学品のナイロン原料が水銀灯による光化学プロセッシングにより工業化されていたように、高収率・高選択反応を求める多数の光化学反応例が蓄積されていた。この背景にあって、水銀灯よりも高品位のフォトンを利用すれば、一層の高効率化が可能となるだろうとの期待があった。しかし、フォトンコストの高いことを考慮した対象を選択すべきであり、連鎖反応や光触媒反応、あるいは付加価値の高い化学品合成に焦点が絞られた。８０年代当初、いち早く、アメリカ（Dow Chemical社など）とドイツ（Max Planck研究所）で塩化ビニルモノマーやビタミンD_3合成の研究が行なわれ、世界的にこれらの課題に対する活発な研究が注目を集めたが、現在までに世界のどこでも実用化されてない。その他、連鎖反応系のレーザープロセスは、８０年代前半に、アメリカのExxon社、Standard Oil社、Dow Chemical社などの化学会社において、クメンハイドロパーオキシドやt-ブチルハイドロパーオキシドなどの連鎖酸化

反応による過酸化物製造、あるいは塩化メチルやトリクロロエタンの塩素化反応による製造などが研究されたが、現在では停止されているものと考えられる。それは、化学工業の場合、現行法での設備、コストの観点から、新規プロセスへの転換に際して、研究開発レベルと実用化レベルの段差が極めて大きいことであろう。したがって、これらの高効率化学合成への研究は、エキシマレーザー装置が化学分野に普及しはじめた当初の時期に一時的に活発であったが、８０年代後半からは残念ながら非常に少なくなってしまった。カナダの国立研究所のHackett（Laser Chemistry, vol.9, 75,1988:Making Light Work･･･Applications of Lasers to Chemical Production）も指摘しているように、新技術は誕生したものの、受け入れる側の化学工業に既存の化学プラントを代替えする体勢が追従しておらず、時期尚早であった。レーザー誘起光反応による化学反応は、実験室レベルでは興味ある対象であったが、現存のプラントに代替えするほどの優位性や緊急性はなく、２１世紀への長期的な課題と言えよう。

その後、化学品合成を凌ぎ、現在も発展し続けているエキシマレーザーによる化学応用分野の課題は、材料化学プロセッシングである。８０年代初めに発見されたポリマーアブレーションは、基礎化学と応用技術の両面から活発な研究が推進され、エキシマレーザー装置の高性能化・大出力化と共に、現在、産業での実用化が着々と進められ、電子産業、材料加工業から医療（特に、眼科治療）分野での活躍が期待されている。

アブレーションの発見は、わが国の理研での河村・豊田・難波らによるフォトレジストの研究に端を発するが、ほぼ同時にＩＢＭ社のSrinivasanらが、研究を開始し、アブレーションと命名、以降のポリマーのエッチング現象解析において独走し、次いで活発な研究グループはヨーロッパでも形成され、ドイツ、イギリス、フランスを中心に展開されている。この結果、ポリマーアブレーションにおける反応機構、新手法、新材料での研究成果の多くは欧米によるものであった。応用技術としても、装置・周辺機器と組んでドイツ、アメリカ、カナダ、イギリスなどが、ポリマー材料加工プロセッシング研究の主流を走った。また、８６年の高温酸化物超伝導体の発見以降、薄膜作製法として世界中で活発な研究が行なわれはじめたが、研究者層、研究論文数などは、アメリカ、ドイツが多数を占めている。

レーザーアブレーションに関する国際会議・ワークショップなどが、９１年以来アメリカ、欧州を中心に行なわれている。それは、アメリカでの大企業（IBM社）のみならず、軍事・安全保証指向の研究から民需指向への転換を強く打ち出した国立研究機関（Oak Ridge、Los Alamos研究所）で多数の研究者がレ

ーザーアブレーションを重点研究として取り上げ始めたことであり、また、ドイツ（Max Planck研究所，Lambda Phsik社，Siemens社）、カナダ（Lumonics社）、イギリス（Rutherford研究所，Exitec社）では装置・機器とが連携している研究場でもこの課題が取り上げられている有利さが指摘できる。

現在、エキシマレーザーによるアブレーション研究は、ポリマーの精密加工に対しては既に電子工業分野で工業化されている。最も大規模で工業生産過程に導入された例は、ＩＢＭ社の汎用大型コンピューターに搭載するプロセッサであるガラス・セラミックス基板回路のポリイミド薄膜で覆われた銅配線を切断する工程で使用された。当初は日本の野洲工場を含む世界中の３工場で合計１００台程度が導入されたが、現在はアメリカ国内の一工場に集結されている。その他、ＩＢＭ社では、プリント配線板のポリイミド膜の孔明けにも使用している。少し規模は小さいが、アメリカ・ボーイング社は、航空機内の電子回路配線用の細巻線の被覆に使用されているフッ素樹脂のマーキングにエキシマレーザー照射を行なっている。興味ある例では、イギリス・Award Technology社は、使い捨てソフトコンタクトレンズの酸素透過性向上のために、５０μｍ径の微細な孔を６０００個あけるのに使用している。また、世界中でコンタクトレンズのマーキングにも多く使用されている。

最近の実用化への研究開発例として興味あるのは、アメリカ・ＩＢＭ社でなされたフッ素樹脂にポリイミドを少量添加（ドープ）した材料を調製し、ＸｅＣｌレーザーでのフォトエッチングを可能とした技術である。

これらのエッチングによる精密加工法としての産業化への進展とは別に、近年は、薄膜作製法としてのアブレーションの重要性が高まっている。８０年代後半からは、高温超伝導体となる酸化物薄膜作製の研究が活発になり、９０年代のアブレーション研究論文の多数はこの対象で占められている。その他、ダイヤモンド状炭素、酸化アルミ、窒化ホウ素、炭化珪素などのセラミックス薄膜作製、あるいはオプトエレクトロニクス材料としての$PbZr_xTi_{1-x}O_3$、焦電材料の$PbTiO_3$などの研究が盛んである。さらに、炭素クラスターとして注目を集めているフラーレン類についても、最初の発見の８５年のグラファイトのレーザーアブレーションから、大量合成はアーク放電法に移ったものの、金属内包フラーレンの合成のためにはレーザーアブレーション法が活用されている。また、ポリマーについては初めて、８８年にアメリカ・Olin研究所からポリテレフタレートやポリメタクリレートなどの７種の汎用ポリマーについて報告された以降注目される研究は見られなかったが、９３年にDu Pont社からフッ素樹脂のアブレーションによる薄膜作製に成功した報告が発表され、今後の

実用化が期待される。。

気相光化学反応法による薄膜作製は、当初は電子デバイス用の半導体Ｓｉ薄膜が大半を占めたが、現在では、焦電体センサーやダイヤモンド状炭素薄膜などへも広がっている。しかし、薄膜作製法としては、真空系やガス配管系などの不要あるいは簡易なアブレーション法の研究開発が主流となりつつある。

表面光化学反応は、従来赤外レーザーでの金属材料のアニーリングを進展させるものであり、エキシマレーザーにより金属材料からポリマーまで多様な研究が行なわれている。

化学材料分野での光プロセスとして、これまでに最も実績があり、現在も、また将来に向かっても高く評価されているのは、フォトレジストであろう。感光性樹脂として、１９６０年代に登場して以来、印刷配線板や半導体製造あるいは印刷、金属精密加工などにおいて不可欠の材料工程として目ざましい躍進を続けてきた。今日までにこれらの光プロセスの光源の多くは水銀灯やキセノン灯などの定常光であるが、集積回路の高密度化に伴い、サブミクロンの解像度が要求される時点で、光源としてより短波長で単色性に優れたＫｒＦエキシマレーザーが期待され、エキシマレーザーリソグラフィーの研究開発が８０年代から活発に行なわれている。対応するフォトレジスト材料の研究開発と相俟って、ＫｒＦエキシマレーザーの狭帯域化も要請され、現在０．３－０．２５μｍラインの解像度からなる６４ＭＤＲＡＭ超ＬＳＩが開発されはじめた。しかし、量産用には水銀灯のｉ線（365nm）での位相シフト法による工程により達成する意向が強い。ただし、次の２５６Ｍから１Ｇ用にはもはや水銀灯では不可能である。また、ＫｒＦの次世代として、ＡｒＦエキシマレーザーリソグラフィも、すでに研究開発が開始された。なお、リソグラフィの高密度化においては、シンクロトロン放射光（ＳＲ）、Ｘ線、電子リソグラフィも同様に検討されており、それらの競合も激しく、どの手法が採択されるかの今後の動向は微妙である。

感光性樹脂の新たな技術であり、レーザー技術と融合して進展しているものとして、光造形システムが８０年代後半に生まれた。立体モデルは鋳造用模型や試作品の形状や機能を検討するのに必要であるが、その製作には熟練技術を必要とする。そこで、自動化、迅速化、簡易化のために、３次元ＣＡＤデータを元にレーザーを感光性樹脂に走査することで、光硬化した樹脂層を積み重ねて立体モデルにする手法が開発された。アメリカ・３Ｄ社が最初に製品販売し、現在では、ドイツ、イスラエル、日本などがそれぞれ独自のシステムで開発し、販売している。レーザーとしては、Ｈｅ－Ｃｄ、Ａｒイオン、半導体が使用さ

れている。

以上、１９６５年のレーザー発振以来レーザー利用技術の中で化学応用関連分野での世界の動向をかいつまんで述べてきたが、電子、機械産業あるいは医療などの分野と比較して、化学応用分野でのレーザー利用技術は、当初期待された割には決して充実したものではないというのが、率直な動向であろう。しかし、レーザーの登場なしには、基礎化学での画期的な成果もなかったことであるし、それらの基礎研究とともに、化学合成での基礎データも得られた。これらは、将来の産業構造の変化に伴い、採択されることも否定できない。また、化学反応の研究で得られたデータは、今後、最も期待されるレーザー利用技術である種々の材料プロセッシングにも活用され、その基盤技術として貢献しており、これからも重要な役割を果たすであろうし、世界各国で、化学と化学応用分野でのレーザー利用の研究層は着実に増加している。

最後に、世界の動向として、注目されるのは海外における国家プロジェクトの趨勢である。アメリカは冷戦時代からの軍事科学研究として重きをなしていたＳＤＩ政策の停止からの民需転換が急速に進展しており、Advanced Research Programme Agency(RPA)によるTechnology Reinvestment Program(TRP)が開始され、こん計画の中心課題が「Precision Laser Machining」(1994-97)であり、平均出力６ｋＷのＬＤ励起固体レーザーによるレーザー精密加工技術の確立が目標となっている。また、ドイツでは、ユーロレーザー計画がほぼ終了しており、独自にドイツのレーザー技術の国際競争力強化策として「レーザー２０００」プロジェクト（1994-97）を開始し、このプロジェクトでも物質とレーザーの相互作用の研究から、精密光学のための紫外光プロセッシング、アブレーション、デポジション、表面解析技術などの基礎から応用までの課題が産官学からなる組織で行なわれる。

２）データベースから見た日本の現状

レーザーが誕生して以来、基礎化学から化学応用分野における世界全体での研究開発動向を前項で概観してきたが、１９６５年から８０年までの日本の動向はほぼ同じ傾向あった。そこで、ここでは８０年以降を念頭に、今日の日本の現状をデータベースに現われた結果と共に総括しよう。

わが国でのレーザー科学研究において、常に先導的役割を果たしてきたのは、理化学研究所である。１９７６年には、レーザー科学研究グループが組織され、レーザー分光、レーザー光化学、新レーザー技術から成り、レーザー誘起化学

反応に関する研究が進められた。この中での最も大きな課題は、ウラン濃縮であるが、その他の化学、材料のレーザープロセシング、例えば、ＣＶＤ法によるＳｉ膜、ＧａＡｓ単原子成長膜、半導体アニーリング・エッチング、高温超伝導膜、ホウ素・モリブテン・鉄微粒子製造、有機化合物の赤外レーザー多光子解離反応、Ｓｉ同位体分離など枚挙にいとまがない。これらの数多くの先駆的な研究が達成され、わが国の産官学のレーザー化学・材料プロセシングに大きな影響力を与えている。

８０年代前半の研究動向の中心は、化学物質（化学反応基質・原材料）に対する光化学反応を誘起するエキシマレーザーの利用であった。高効率化学合成法は、わが国の場合、化学企業では自らは研究開発する状況ではなく、国立研、大学などに限定された。ただし、化学工業協会の要望やいくつかの企業との共同研究体制で行なわれたケースもあった。おもな課題は、化学技術研究所でのジクロロプロパンの脱塩化水素連鎖反応、光触媒反応によるオレフィンの水素化反応、アルカンのカルボニル化反応など、原研大阪支所のアルコールからのグリコール合成、東京大学工学部のアルカンの酸化連鎖反応などである。実験室規模では良い結果が得られたものの、前述のように産業化には時期尚早であり、その後の進展はない。また、理研では、ビタミンＤ$_3$の合成も研究されたが、その後の展開は見られない。この状況は世界共通であり、レーザー利用による化学合成での興味は８０年代の当初の勢いから９０年代に入り停滞状態になっており、今後、特定の化学品での画期的な高収率化なしには進展されないだろう。

化学応用分野で、わが国においても最も活発に研究開発が行なわれ、既に実用化されている課題は、材料関連プロセッシングである。したがって、産業分布も化学工業よりも、電子工業、材料製造業、精密機械工業などが中心である。それらの企業において材料の孔明け加工、表面改質、マーキング、汚染物質除去（表面クリーニング）、電子部品処理、３次元モデル作製などである。

エキシマレーザーアブレーションによる熱損傷の少ないエッチングは、ポリマー材料の孔明け技術として、すでに実用化されている。電子回路でのポリイミド膜の孔明けは、多くの企業で最も広く普及するだろう。この工程を効率良くするために開発された三菱電機の誘電体薄膜ミラーを使用した多重反射方式による専用装置はわが国で独自に開発されたものとして注目される。また、わが国独自に開発された対象物として注目されるのは、キャノンによるインクジェット方式プリンターのノズル孔明けである。ポリエーテルサルホン材料に３０ミクロン径の細孔を６４個開けるのにＫｒＦエキシマレーザーが最適であり、

歩留まりが大幅に向上した。各種材料のマーキング、表面改質、ワイヤーストリッピング、汚染物除去などは、最も容易に導入しやすく、今後ますます増加するであろう。

なお、これらの材料レーザープロセッシングの多くは、ジョップショップで試験的に検討する段階までのものも多い。したがって、わが国での研究開発の現状を考察するために、ここでの対象課題を掌握しておくことが重要である。次に、あるジョブショップでのエキシマレーザー材料加工の種類と素材を示す。内容からみて、これらの加工がアブレーションで行なわれていることが推定される。

加工の種類	対象となる素材（多い順に列挙）	割合%
除去（ｴｯﾁﾝｸﾞ）	ポリイミド、金属（銅など）上のポリイミド その他のポリマー・積層物	３０
孔明け	ポリイミドなどのポリマー、シリコン、セラミックス、ガラス	２９
切断	ポリイミドなどのポリマー、金属	9
溝加工 (slotting)	セラミックス、ポリマー、金属、ガラス シリコン	２７
マーキング	金属、セラミックス、ガラス	5

わが国では先端技術の研究開発を先導する場合、通産省での産官共同プロジェクト（大型プロジェクト制度→産業技術開発制度）の役割が大きい。欧米での状況から、レーザープロセシングの基盤となるエキシマレーザーの大出力化・高性能化が緊急開発課題となった８０年代半ば、日本はこの課題では５～１０年程度の大幅に遅れていた。エキシマレーザーの開発を含む「超先端加工システム技術」が開始されたのは、８６年のことであった。このプロジェクトにはイオンビームなどの装置開発も含まれたが、中心課題は、材料プロセッシングの産業化に対応できるエキシマレーザーの大出力化（目標２ｋＷ）、長寿命

化（目標１０⁹ショット）、高繰り返し化（目標５ｋＨｚ）であり、また、ダイヤモンド薄膜や複合酸化物薄膜形成技術があった。９３年度終了時には装置開発は予定通りの目標が達成され、９０年初めには、わが国でもエキシマレーザー装置が本プロジェクト参加企業のみならず、他の企業を含め、現在では１０社程度から生産される状況となった。また、恐らく、８０年前後から輸入されたものを含め、現在では少なくみても１０００台程度のエキシマレーザーが設置されているだろう。研究対象課題は、８０年代初めの基礎化学研究用から、後半は材料プロセシング用に比重が移りつつある。

産業技術研究開発制度では、さらに、９０年度から「先進機能創出加工技術」を開始したが、本プロジェクトにはレーザー利用による高機能性材料の課題が重要な位置を占めている。例えば、真空場や高磁場下でのアブレーションやＣＶＤ法などにより高配向性有機分子膜を作製する課題、レーザー化学反応により高純度金属粒子を作製する課題などがある。

このような国家プロジェクトの推進は、参加企業だけでなく、周辺への波及効果も少なくない。わが国独自に研究開発が活発に推進されている課題の増加しつつある。最も注目に値するのは、フッ素樹脂の表面改質である。最初の研究は、９０年の東海大学－理研によるアンモニア、ボランなどの雰囲気下でのＡｒＦエキシマレーザー照射による親水化や親油化への改質である。その後、原研での混合樹脂化しての接着性の向上、物質研でのヒドラジン雰囲気下での親水化、そして無電解めっきによる金属膜付着技術へと進展している。フッ素樹脂の応用は工業での大きな課題であったし、レーザー処理による種々の高性能化、高機能化は、今後産業への実用化が大きく期待されるものである。その他のポリマー材料に関するアブレーションでは、物質研が物理的変化と化学的変化の両面から取り組み、ポリマー材料の表面改質技術として世界に先駆けた展開を示している。

セラミックス・金属分野では、四国工研は、窒化ケイ素にエキシマレーザーを照射して、表面層を改質し、金属との低温下での接着を可能する技術を開発している。また、機械技研は窒化ケイ素や炭化ケイ素をＫｒＦエキシマレーザー照射するとダイヤモンド工具による機械加工が容易になることを見いだした。その他、大学での基礎研究もエキシマレーザープロセッシングが最も活発である。阪大産研では、酸化物高温超伝導体の発見後、いち早くエキシマレーザーアブレーション法による薄膜作製を開始し、優れた特性を有するものを作製するとともに、評価法と構造制御の優れた研究により、アブレーション法での超格子薄膜作製手法にまで達している。また、阪大工学部ではポリマーアブレー

ションの現象解析のために時間分解分光法を用いて、ドープ系での機構を研究している。筑波大物質工学系では、レーザープラズマ軟X線吸収分光法を用いてSiや炭素のアブレーション機構を研究している。慶応大学工学部では、フッ素エキシマレーザーを開発するとともに、フッ素樹脂の真空紫外レーザーアブレーションに成功している。

以上、断片的にいくつかの研究開発を概観してきたが、現在は、装置・機器も急速に進歩している途上であり、かつ、対象となる素材も拡大されつつあり、このような状況下で基礎研究からは続々と新現象・新材料が発見されており、レーザー化学プロセシングでの活発な研究開発動向は今後もさらに一段と増進されるだろう。一方、企業においても、経済バブル後の苦境での影響も治まり、産業界での実用化技術としても、大きな躍進時期に向かうのではないかと期待される。

１．２．４　レーザ光計測の技術動向

１．はじめに

光応用計測法の進歩・発展は，めざましく，精密機械工業からエレクトロニクスの分野に至るまで，今や必要不可欠の計測手段となっている．従来から利用されていた，光の結像，干渉や回折などの光波の性質を利用した古典的光計測法に，高度な情報処理システムが結合して，新しいシステムとしての光応用計測が誕生しつつある．

さて，光学的計測の特徴としては，

(1)非接触，
(2)高空間分解能，
(3)高感度，
(4)二次元パターンが検出が可能，
(5)光の多用な性質（散乱，偏光，色など）が利用可，
(6)高速処理への期待，
(7)情報の並列伝播特性（２次元並列インターコネクション），
(8)光情報処理技術が利用可，

などがあげられる．これは，他の電気的な計測にない極めて特異な特長である．

光応用計測法（特にレーザ応用計測法）は，光源の持っている特性からを分類することができる．その特性とは，一言でいうと集中性が高いということである．すなわち，(1)高い空間的な集束性，(2)時間的集束性，(3)スペクトルの集束性，があるということである．別の言葉でいうと，空間的，時間的，スペクトル的に極めて高い精度の光が利用できるようになってきた．

ここでは，これらの３つ視点からレーザ利用計測技術の傾向を探ることにする．

２．長さ，形状の計測

レーザ計測も含めて光計測の基本感度は，光の波長（可視光では0.5μm）である．図１に，形状の測定精度の年代変遷と，その時代における超精密加工（限界精密加工）の到達精度を比較することで一目瞭然である。この図では，寸法，形状，表面粗さについての測定精度が混在して記入されているが，各時代の代表的な測定精度限界の目安と考えられる．1960年代までは，測定精度の向上(実線)と超精密加工の到達精度はほぼ一致している．図中○印は光学的手段による方法で，1960年代から測定精度向上の直線がより急峻になるための重要なファクターであったことが理解できる．光学面の測定に関しては，フーコー・テストをはじめとしてすでに19世紀中ごろには1/50波長の精度に到達していたものもある．光学面の加工が超精密加工の代名詞のように言われて来たのも，このような高精度計測技術があったからである．

干渉計測において，干渉縞信号の高精度位相検出技術を駆使することにより，従来の縞解析精度を大幅に向上させることが出来るようになった．最近注目されている縞走査干渉

法やヘテロダイン干渉法がそれである．

一般に干渉縞の強度分布は，被測定位相をϕ（x，y）として，

$$I(x,y)=\alpha(x,y)\{1+\gamma(x,y)[\cos\phi(x,y)]\} \qquad (1)$$

と書ける．ここで，α（x，y）とγ（x，y）は，ばしょてきに変化する量で，これが変化すると位相の測定精度が低下する．これらが既知または場所的に一定である場合には，（1）より直接的にϕ（x，y）を解き，形状がもとまる．しかし現実には，縞のバイアス項もコントラストも一定ではなく，雑音に影響されているので，縞の強度の極大位置（明縞）もしくは極小位置（暗縞）のみを検出して縞解析を行う．

高精度縞解析法では，バイアス位相項デルターδを導入する．即ち，干渉縞強度分布を

$$I(x,y,\delta)=\alpha(x,y)\{1+\gamma(x,y)[\cos\phi(x,y)-\delta]\} \qquad (2)$$

と考え，バイアス位相項δを変化させて，干渉縞強度I(x,y,δ)の変化から被測定位相ϕ(x,y）をα(x,y)とγ(x,y)の影響なしに計算する．これが，参照光の光路長を変化させて干渉縞のバイアス位相項δを変調する，縞走査干渉法の原理である．例えば，トワイマン・グリーン干渉計において，参照鏡にピエゾ素子を張り付け，参照光の位相を変化させると，測定面の一点では干渉縞の強度が，参照光の位相の変化に対して，図２のように正絃的に変化する．この正絃関数の初期位相が干渉縞の位相を与える．

現在までに高精度干渉法としては，縞走査法，サブフリンジ法，ヘテロダイン法，フーリエ変換法などが知られている．いずれの方法でも，究極的な精度は理論的にはいずれも同一であることが予測され，λ／１０００からλ／２０００程度と考えられている．

３．空間的超解像

光学系の空間分解能は，いわゆる回折限界Δで制限される．

$$\Delta=\lambda f/D \qquad (3)$$

ただし，λは光の波長，ｆはレンズの焦点距離，Ｄは光学系の射出瞳の直径である．この回折限界を越えた空間分解能の結像系，顕微鏡が報告されている．

３．１　超解像

上記の回折限界の式(1)は，射出瞳の振幅位相分布が均一である場合の回折が

$$F(r)\propto|2J1(z)/z|2 \qquad (4)$$

ただし，$z=\pi Dr/\lambda f$，Ｊ１（ｚ）は１次のベッセル関数．この(４)を図３(a)に示す．回折パターンの中心から最初の零点までの距離がΔである．瞳の振幅位相分布を変化させて，Δを小さくすることを，超解像という．瞳の形が円環である時の回折パターンを図３(b)にしめす．(a)(とb)を比較すると，(b)の方がΔが小さくなって，解像力が向上したこと

がわかる．しかし，サイドローブは大きくなっているので，分光器などでは，これが問題になる．(c)のように，解像度は低下するがサイドローブを抑えるためには，瞳の周辺の透過率を徐々に減らせば良い．これをアポダイゼイションという．

最近，この超解像の原理を用いて，ＩＣフォトマスクの解像線幅を解像限界よりも狭くする技術（位相シフトマスク法）が開発されている．即ち，図４（ａ）のように通常の細線マスクは解像力限界でウエハに結像されるが，本来焼き付けたい細線のマスクの両側に位相がπ異なるマスクを配置すると，図４（ｂ）のように，両側マスクの回折の影響により，細線の像は解像力限界よりも細められるのである．

３．２　ニヤフィールド走差顕微鏡

解像限界よりも小さい開口を物体に近づけ，これを走差しながら，開口から漏れ出た光を光源として物体の透過してきた光を検出して画像をつくると，回折限界を越えた解像力の画像がえられる．これをニヤフィールド走差顕微鏡という．図５にこの顕微鏡の原理図を示す．開口（光源の大きさ）が約１０ｎｍで物体との距離も１０ｎｍであるとすると，２０～３０ｎｍの解像力が得られたという．

４．超短光パルス

色素レーザのモードロック技術により，現在のところ約１０ｆｓの超短パルスがえられている．この超短パルスは，いわゆる高速度現象の解析に利用できる．化学反応素過程の研究，高速物理現象の解明に利用されている．工業的には，エレクトロニクス技術ではもはや追随できない高速現象の測定に利用可能である．

超短パルスはまた，距離測定にも利用できる．１０ｆｓの超短パルスのパルス長は３μｍとなり，この程度の精度で距離測定が可能である．しかし，この速度に直接応答できる光検出技術はまだ実用化されていない．

また，超短パルスは超高速エレクトロニクスの現象の解析にも利用されようとしている．図６は，電気光学効果の高速応答性を利用した光プローブによる電子回路の応答特性測定法の原理図を示す．ＩＣ内の電界の変化をＯＥプローブ内の屈折率変化に変換して，これをレーザービームの偏光変化として検出するものである．

５．超高コヒーレント光

光の波長幅の制御技術も大きく進歩している．波長幅１０Ｈｚの光源が得られている．これはコヒーレント長３万ｋｍに相当し，超長距離の干渉計測が可能になったことを意味する．

干渉計測の位相測定技術にも進展があった．従来一次元的な位相測定にはヘテロダイン技術が使われておりその測定感度はｍｒａｄから10μｒａｄであったが，二次元的な位相測定では干渉画像解析によりその測定感度は100ｍｒａｄ程度であった．前にも述べたように，縞走査法により一挙にヘテロダイン法と同等の測定感度が得られるようになった．

また，従来は，マイクロ波領域でのみ利用されていたネットワークアナライザーも，この超高コヒーレント光と精密周波数走引技術により可能になろうとしている．

６．おわりに

このようにレーザ光応用計測の技術は，多方面にわたりその限界乗り越え，測定範囲ひろげ，測定精度向上させつつある．測定領域も，１Ａの極微の世界から，kmあるいは光年の単位で測定されるべき天文学の領域までカバーしている．そして，単なる長さの一次元的計測から，二次元のパターン計測，三次元の立体形状計測，さらに色や偏光を加味すると測定の次元は上がってきている．これらの各部分で計測の領域は拡大している．

参考文献

1）谷口紀男：超精密加工技術，砥粒加工研究会編，工業調査会，ｐ．３７（１９８４）
2）谷田貝豊彦：精密機械，５１，６９５（１９８５）
3）辻内順平：光学概論ＩＩ，ｐ．７９（１９７９）
4）福田ほか：光学，１９，２９０（１９９０）
5）U. Durig et al: IBM J. Res. Develop. 30, 478 (1986).
6）C. H. Lee ed.: Picosecond Optoelectronic Divices, Academic Press (1984).
7）B. H. Kolner et al: Electron. Lett., 20, 818 (1984).
8）大越ほか：電子情報通信学会研究会報告，ＯＱＥ８７－１７（１９８７）．

図１．　形状測定精度の年代変遷

図２．　縞走査干渉法の原理

図３．　円形開口の回析パターンと超解像、アポダイゼイション

図４．　位相シフトマスク法

図５．　ニヤフィールド顕微鏡

図６．　非接触ＥＯプローブ法の原理図

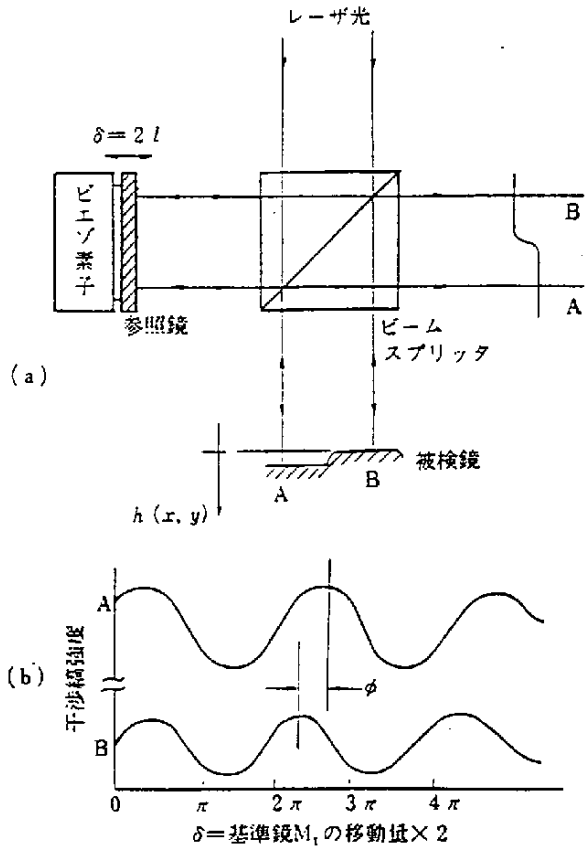

レーザ光
δ＝2 l
ピエゾ素子
参照鏡
B
A
ビーム
スプリッタ
(a)
被検鏡
A
B
h (x, y)
(b)
干渉縞強度
A
B
φ
0
π
2 π
3 π
4 π
δ＝基準鏡M1の移動量×2

図 2

53

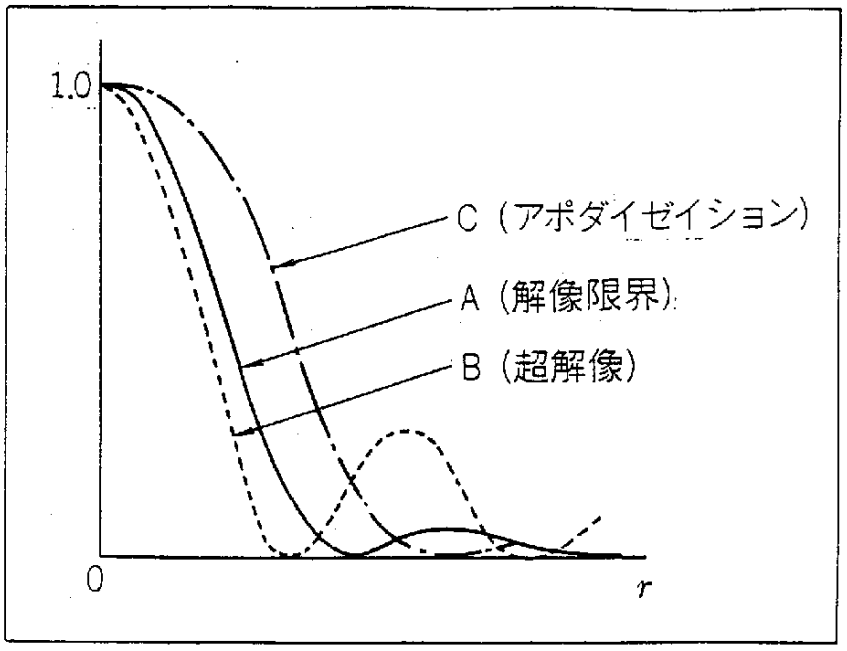
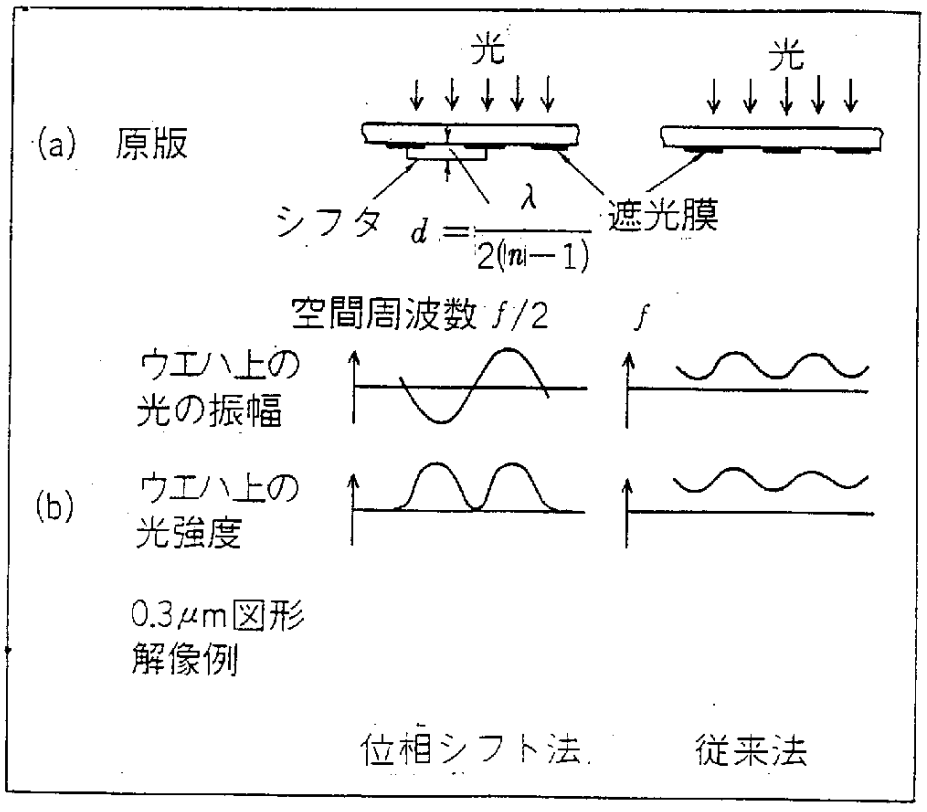


Fig 3

OE11
谷田貝 図3

60



n+1 n

Fig.4

OE11
谷田貝 図4

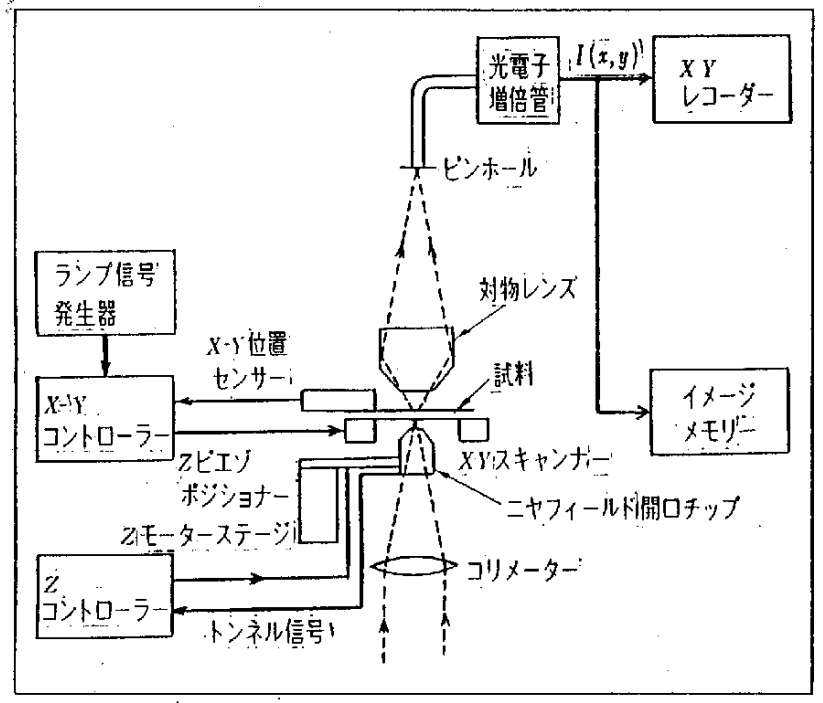

光電子
増倍管
I(x,y)
XY
レコーダー
ピンホール
ランプ信号
発生器
対物レンズ
X-Y位置
センサー
試料
X-Y
コントローラー
イメージ
メモリー
Zピエゾ
ポジショナー
XYスキャンナー
ニヤフィールド開口チップ
Zモーターステージ
コリメーター
Z
コントローラー
トンネル信号

Fig 5

50

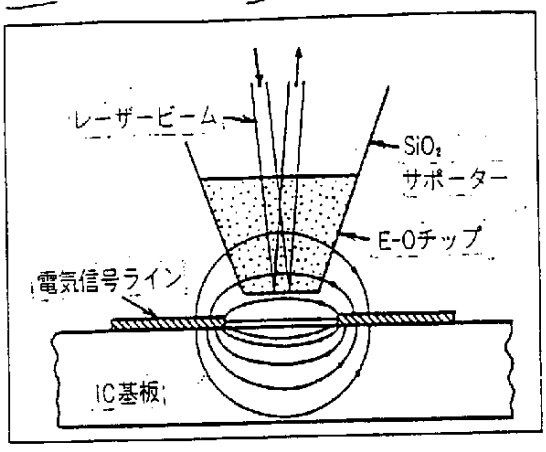


Fig. 6

OE11
谷田貝 図6

クレーム

20

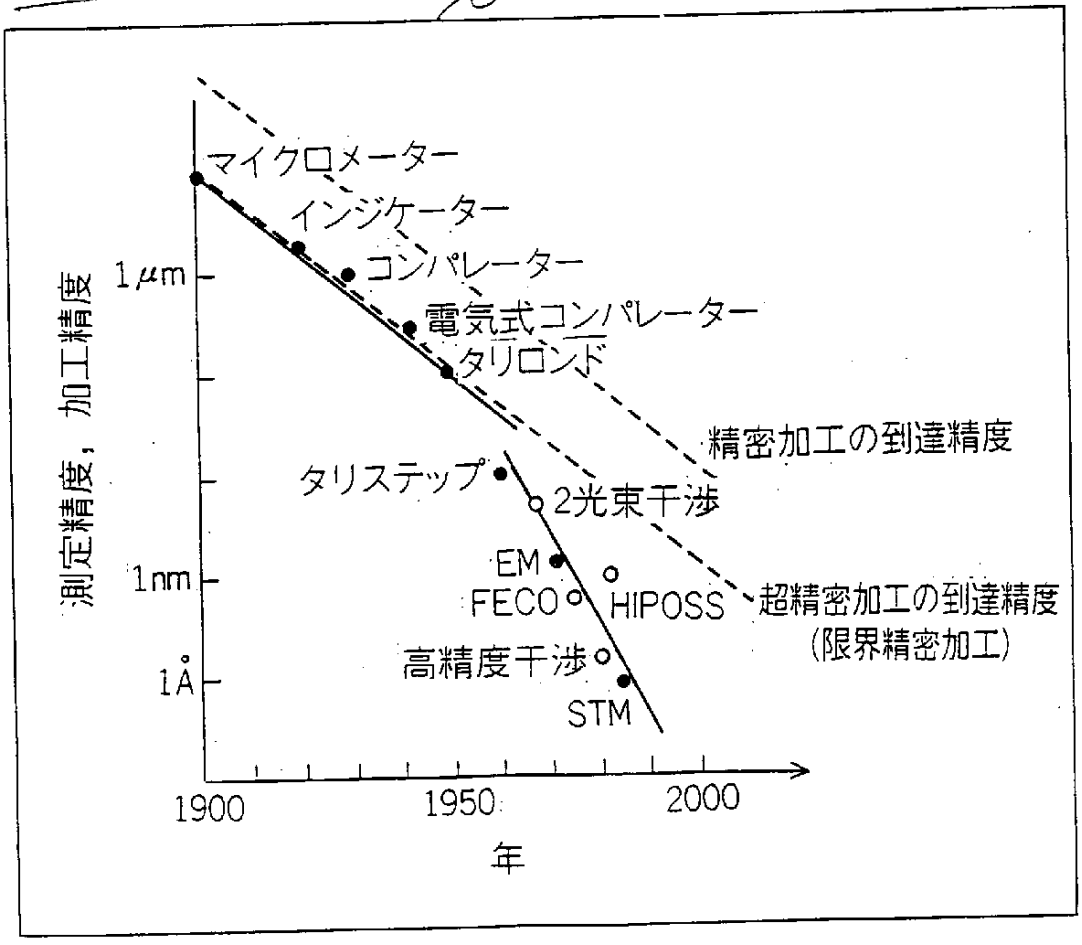


Fig 1.

OE11
谷田貝 図1

１．２．５　医用応用

１）眼科領域

屈折矯正を目的としたレーザー角膜形成術は、レーザーの医学応用として近年最も注目を集めている。近視人口は成人の約半数に及び、その中で眼鏡矯正では不便を感ずる強度近視(-6D以上、D:Diopter)、最強度近視(-10D以上)は各々５％、２５％もいると推定される。エキシマーレーザーを用いた角膜蒸散による屈折矯正術は、TrockelやSrinivassan によって研究され(1)、ArFエキシマーレーザーを用いたPhoto Refractive Keratectomy (PRK法)に発展した(2)。このPRK法は、非接触で精密加工が可能なレーザー蒸散の利点が十分活かされた応用であり、1979年にFyodrovが開発した Radial Keratotomy(RK法)に比べて大きい利点を有している(3)。また、同じレーザー装置を遺伝性の角膜疾患に対する治療(Photo-Therapeutic Keratoplasy;PTK法)にも適用できる。米国では、PRK法、PTK法ともにPhase Ⅲの治験が終了し、Food and Drug Administrationにおいて認可審査中である。PRK法の装置は既に10種類（推定400台）以上製造されている。一方、治療法の研究もいまだに進行中で、これに伴って機器の改良も日進月歩で行われている。

日本で使用されている角膜形成装置は4機種である。現在 UV200LA(Summit社、米国)が治験を終了し、審査中である。また、VISX 20/20(Alcon社、米国)、MEL60(Meditech社、ドイツ)、EC-5000(Nidek社、日本)の3機種は現在治験中である。UV200LAとVISX 20/20の共通の特徴は、ビーム整形装置を用いた大口径均一強度ビーム方式である。これに対して、MEL60、EC-5000は、ビーム走査方式を採用している(4)。レーザーによる角膜矯正手術では角膜に大きい侵襲を与えるため、創傷治癒に関する様々な問題が起こることが心配されてきた。これらの諸問題は研究初期に問題視されていたよりも軽度であったが、依然として注意すべきである。日本では患者の過大な期待と専門外医師による安易な診療によって、RK手術の認可・普及が大幅に遅れた経緯がある。日本眼科学会ではガイドラインを作成して、PRK法の健全な発展に意を注いでいる(5)。

網膜剥離に対するArレーザーやKrレーザーによる凝固手術は既に完全に完成しており、研究の主題は前述の角膜形成術や、白内症治療、緑内症治療に向かっている。白内症治療、緑内症治療では、従来法と比べて著しく良好な治療結果は得られていない。

２）循環器領域

1980年代後半から1990年代初めにかけて盛んに研究されたレーザー血管形成術は、長パルスXeClエキシマーレーザーあるいはHo:YAGレーザーとマルチファイバーカテーテルを組み合わせた治療器として完成した。現在の冠状動脈血管形成術装置では、動脈内の閉塞（粥状硬化および実質化血栓）の除去量が十分でなく、バルーン血管形成術より低い術後再狭窄率が実現できなかった(6)。左冠状動脈主幹部病変、拡散性病変、バイパス手術後のバイパス（大伏在静脈）閉塞、など特定の病変には効果が認められ、一部で使用されているが、米国でも普及していない。 同時期に開発された Directional Atherectomy Catheter（動脈硬化をかんなの様に削るカテーテル）、Roterblator Catheter(回転やすりで動脈硬化を細かく削るカテーテル)も現在までの結果は芳しくなく、血管内の閉塞・狭窄物を血管穿孔なく安全に除去する技術が完成していないことを示している。最近、冠状動脈領域に多用されるステント挿入術の術後閉塞の治療用にレーザー血管形成術が再評価されつつある。また、筆者がわが国の医療福祉機器技術研究開発制度の下に開発を行った、操作性のある血管内視鏡カテーテルを用いるＣＯレーザ血管形成術装置は、レーザー血管形成術装置のブレークスルーになり得るものと思われる(7)。頻脈治療として心筋内の正帰還伝導路を組織熱凝固により遮断する治療(catheter ablation)が注目されている(8)。Nd:YAGレーザーを熱源とする方法とマイクロ波を熱源とする方法がある。レーザーをもちいる方式は生体電気安全上有利であり、コスト的に不利である。

３）泌尿器科領域

人口の高齢化とともに前立腺肥大の患者数が急増している。最近、前立腺肥大症に対するレーザー治療が注目を集めている。前立腺肥大症は経尿道的に硬性鏡下に電気メスで切除する方法が主流であったが、前立腺部尿道を切除するために生じる副作用や、患部冷却液に生理食塩水を使用できないために生じる死亡事故の問題点があった。Nd:YAGレーザーによる前立腺治療は、患部冷却液に生理食塩水を使用できるので安全である(9)。また一部の方式では、尿道も保存的に治療を行えるようになっている(10)。

４）光化学癌治療

Photodynamic therapyによる癌治療は、腫瘍集積性のある薬剤を用いた光治療効果の修飾とも考えられ、基礎的にも臨床的にも極めて興味深いレーザー応用である。対象癌は肺癌、胃癌、子宮頸部癌などが考えられている。わが国では世界に先駆けてエキシマーレーザー励起ダイレーザー治療器（治療法）が厚生省の認可を受けた(11)。また安価な光化学癌治療用レーザー装置として664nmの半導体レーザー治療器の試作も行われた。最近の傾向として、励起波長（すなわち光感受性薬剤の吸収波長）を組織吸収の小さい近赤外領域とする長波長化と、体外排泄の速い光感受性薬剤の開発が行われている。この結果、光の侵達性が薬剤集積度で大きく変動すること、薬剤の集積度が経時的に大きく変化することから、薬物動態の監視を含めた治療のマネージメントが必要になってきている。

1)Trokel SL, Srinivasan R, Braren B. Excimer laser surgery of the cornea. Am J Ophtalmol 1983;96(6):710-715.
2)Epstein D, Fagerholm P, Nystrom HH, Tengroth B.Twenty-four month follow-up of excimer laser photorefractive keratectomy for myopia. Ophthalmology 1994 Sept;101(9):1558-1564.
3)Fyodorov SN. Operation of dosaged dissection of corneal circular ligament in cases of myopia of mild degree. Ann Ophthalmol 11:1885-1890, 1979.
4)荒井恒憲、角膜屈折矯正用エキシマーレーザー装置. 日本レーザー医学会誌 16(1):掲載予定、1995
5)屈折矯正手術の適用について－屈折矯正手術適応検討委員会答申、日眼会誌 1992;97(9):1087
6)Bittle JA, Excimer laser coronary angioplastry relative risk analysis of clinical results. Proc. SPIE. 1992 1642:87-97.
7)荒井恒憲、血管内視鏡とＣＯレーザーとを用いた血管形成術装置. O plus E 1993 160:124-130
8)Vincent GM, Fox J, Knowlton K, Dixon JA. Catheter-directed neodymium:YAG laser injury of the left ventricle for arrhythmia ablation:dosimety and hemodynamic, hematologic, and electrophysiologic effects. Laser Surg Med 1989 9:446-453

9)Simth JA.Treatment of benign urethral strictures using a sapphire tipped neodymium:YAG laser. J Urol 1989 142:1221-1222.
10)Suzuki T, Kurokama K, Yamanaka H, Lion ML, Daikuzono N. Prostatectomy by transurethral balloon laserthermia (PROSTALASE) in the canine. Laser Surg Med 1994 14:71-82
11)Yamamoto H, Kato H, Okunaka T, Eskhauser ML, Bonaminio A, Konaka C, Saito M, Furukawa K, Hayata Y. Photodynamic therapy
with the excimer dye laser in the treatment of respiratory tract maglignancies. Lasers in Life Science 1991 4:125-133.

1．2．6　機械加工（表面処理）

1．はじめに

CO_2レーザーやＹＡＧレーザーなどは，パワー密度とエネルギー密度が極めて高い熱源であることから，材料を極短時間に加熱，溶融，蒸発させることができる。このレーザーの特性を利用して，各種表面処理法，溶接，切断などの材料加工法が開発されてきており，一部，実用化された技術もある。そのなかでも，レーザー表面改質処理法は，種々の材料の耐磨耗性，耐食性，装飾性などを改善する局所的な表面処理法として注目されてきている。特に，最近は，鋳鉄，炭素鋼およびマルテンサイト系ステンレス鋼のレーザー表面焼入れ，オーステナイト系ステンレス鋼の粒界腐食および耐応力腐食割れを防止するためのレーザー固溶化熱処理，溶融急冷処理，合金化およびクラッディング，アルミニウム合金のレーザー合金化処理およびクラッディング，各種材料のＰＶＤ処理法などが活発に研究・開発されている。

そこで，本稿は，代表的なレーザー表面改質処理法について，日本と世界の現状および動向を概観したものである。

2．各種表面改質処理法の現状

2.1　レーザー表面焼入れ（変態）硬化法

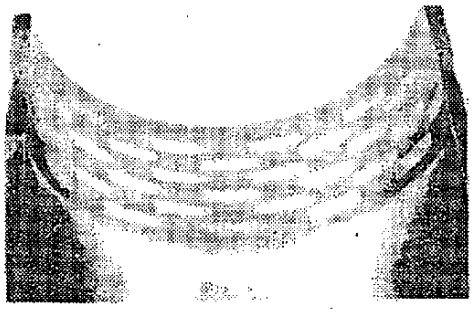
レーザー表面焼入れ硬化法は，１９７０年代に米国ＧＭ社(General Motor Co.)において多数のｋＷ級のCO_2レーザーがステアリングギアハウジング内面やディーゼルエンジン用シリンダライナーの量産に用いられ，それ以来，世界中で注目されてきた技術である。したがって，レーザー表面処理法の中では，古くから研究・開発が行われ，適用・実用化例が最も多い。最近，日本でも活発に実用化研究が行われている。

日本では，焼入れ法に関連して，CO_2レーザーの偏光を利用したＬＳＶ光学系の開発（大阪大学，1990）やＹＡＧレーザー用カライドスコープの開発（三菱重工業，1990）が行われた。ＹＡＧレーザーのカライドスコープでは，デフォーカス法より広範囲の領域が安定に硬化できることが示された。

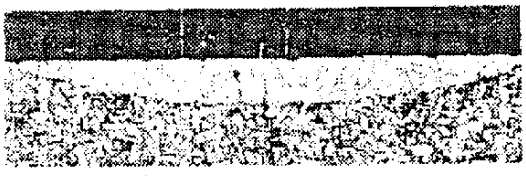
CO_2レーザー焼入れ法は，刃物工具（川崎重工業，1992）や自動車用の中空クランクシャフトの軸部，フィレット部，オイル穴部など（本田技術研究所，1994）への適用が検討されている。　また，CO_2レーザーおよびＹＡＧレーザーによるマルテンサイト系ステンレス鋼の表面焼入れも検討され，硬化と耐摩耗性の向上が確認されている（三菱重工業，1992；東芝，1991）。

特に，CO_2レーザーは，カライドスコープを用いた工作機械用工具交換機構

円周溝カムの焼入れ（ブラザー工業，1993）や回転ミラーを用いた自動車用ディーゼルエンジンシリンダボア内面の局所焼入れ（三菱自動車工業，1994）に実用化されている[1)]。後者の例を図２－１に示す。１月に約１万個が生産されている。この開発は，スリーブレス化と耐久信頼性のために行われたものであり，焼入れ時の表面温度を約±５．５％以内に管理するために，レーザー焼入れの主要な因子であるレーザーパワー，ビームサイズとパワー密度，モードパターン，レーザー吸収材と吸収率，焼入れ速度，材料組成と組織および偏光と照射角度が±１～２％以内に厳密に管理されている。このように，日本では，レーザー焼入れ性に影響を及ぼす因子を徹底的に管理することにより実用化されているのが現状である。

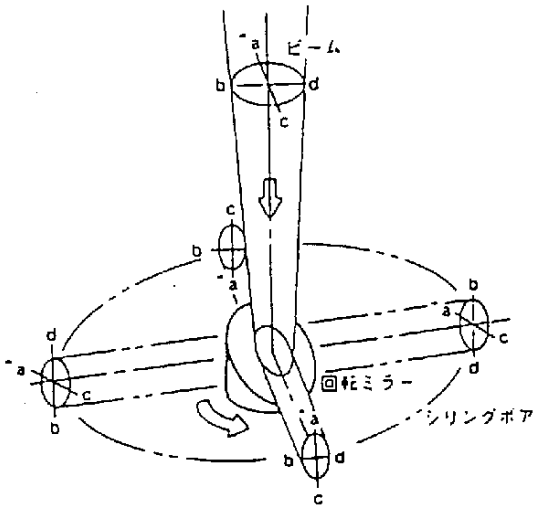


（ａ） シリンダボア焼入部表面



〔幅４㎜，深さ（中央）０．３６㎜〕

（ｂ） 焼入部断面　×１５



（ｃ）レーザビーム回転による
ビームモードの変化

図２－１　エンジンシリンダボア内面の焼入れ部，
断面およびレーザービーム回転状況

世界におけるレーザー表面焼入れ技術は，ドイツで最も発展しているようである。すなわち，Ｐ偏光での吸収率の増加を利用した焼入れ法が実用化されている[2)]。また，図２－２に示すように，ＣＣＤカメラ，Pyrometer，リヤルタイムコンピュータシステム等を用いて，表面最高加熱温度を制御し，焼入れ層の深さや硬度を適応制御する技術が開発されている[3)]。

現在，ＹＡＧレーザーを用いた表面焼入れの実用化例は報告されていないが，高出力ＹＡＧレーザー装置の開発に伴って日本とヨーロッパで検討・研究がされ始めた。ＹＡＧレーザー焼入れの実用化例がない理由は，従来の装置が通常パルス発振であり，連続発振ではパワーとエネルギーがCO_2レーザー装置に比べてかなり小さかったことや高出力ＹＡＧレーザー装置の価格が高いことなどによるのであろう。なお，最近，２～５ｋＷ級の高出力ＹＡＧレーザー装置が開発されている。したがって，ＹＡＧレーザーはファイバ伝送が可能であり，CO_2レーザーより吸収率（エネルギーカップリング）が高いことから，今後，安定発振の高出力ＹＡＧレーザー装置の価格が安価になると，適用例が飛躍的に増加することが期待される。

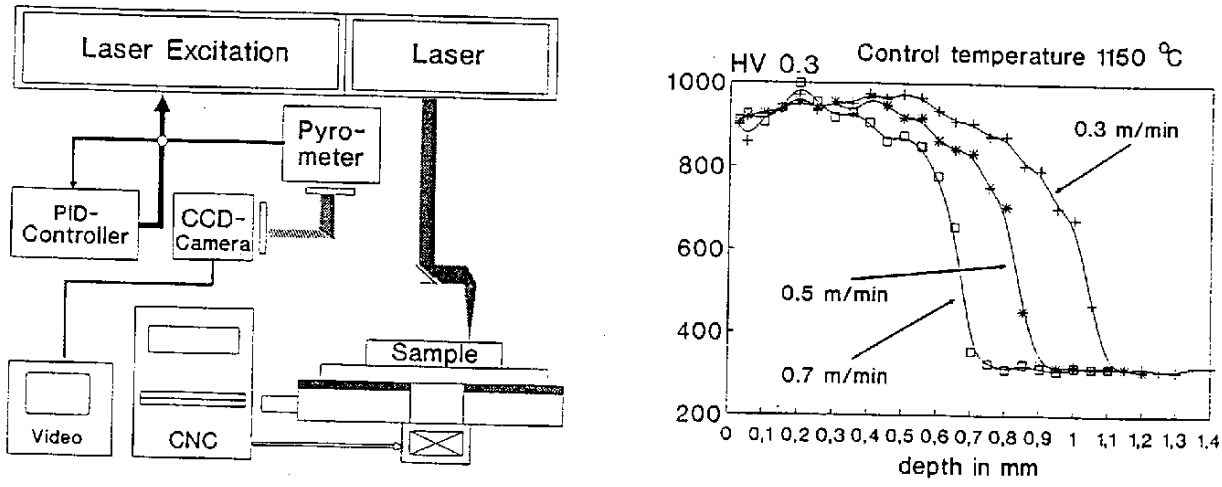


図２－２　レーザー焼入れにおける表面温度制御法の模式図（左側）と得られた硬度分布例（右側）

2.2　レーザーによる固溶化（溶体化）熱処理および溶融急冷処理

レーザー溶体化処理法は，金属材料の表面を高温に加熱し，組織中に形成している炭化物や金属間化合物などを母相中に固溶させる局所的熱処理法である。また，レーザー溶融急冷処理法は，金属材料の表面を溶融させ，その溶融部を材料の自己冷却作用により急冷し，セルラーデンドライト間隔の微細化，ミクロ偏析の低減，介在物や中間相の微細分散化または固溶化などを達成する処理法である。

特に，最近，原子力プラントのオーステナイト系ステンレス鋼の溶接熱影響部（ＨＡＺ：Heat-Affected Zone）では，耐粒界腐食特性の劣化とそれに伴う粒界応力腐食割れの発生が危惧されている。このため，それを改善する方法としてレーザー表面改質法が注目され，日本では，各研究機関や会社で固溶化熱処理法と溶融急冷処理法に関する研究が活発に行われている。

鋭敏化熱処理をさせた試料を用いて，CO_2レーザによる溶体化熱処理（大阪大学，1994）または高出力ＹＡＧレーザーによる溶体化熱処理（東芝，1993，1994）もしくは溶融処理（石川島播磨重工業（ＩＨＩ），1993，1994；日立製作所，1994）を行い，脱鋭敏化が可能な条件や耐食性が向上できることが示されている。特に，溶融急冷処理法では，急冷凝固によってδフェライトを含まないオーステナイト組織が得られ，その組織が耐食性や耐応力腐食割れに有効であり，問題がないことが報告されている（日立，ＩＨＩ）。図２－３に各レーザー照射条件におけるストラウス試験後の表面溶融部の最大損傷深さと凝固時の冷却速度および凝固組織との関係[4]を示す。溶融処理をしたままの状態ではいずれも良好な耐食性を示すが，レーザー処理後７７３Ｋで２４時間の熱処理をした状態では，冷却速度の遅い場合に腐食損傷が増大する傾向が見られた。すなわち，冷却速度が速い条件で得られたオーステナイト組織では，その後の経過に対しても耐食性が良好であることが明らかにされている。

なお，ステンレス鋼の応力腐食割れ性を改善するための同様の研究がアメリカ合衆国でもレーザー溶融急冷法で１９８０年以前に行われた経緯[5]がある。

一方，ステンレス鋼溶接部近傍の耐食性改善するため，耐食性向上合金元素を付与するレーザー合金化技術やクラッディング技術の開発も行われている（ＩＨＩ；1994）。この処理法は，前処理などの多さと繁雑さがあるが，表面層としては最も優れたものを得ることが可能であるため，対象物や経済的な観点もあるが，将来的にはこれらの技術開発が必要であろう。

さらに，鋳鉄やインコネルなどのＮｉ基合金においても溶融処理法で，耐食性の改善や水素脆化感受性の低減が計られている（大阪大学；ＩＨＩ，1994）。

イギリスでは，原子力用コンクリート材の封孔処理にレーザー溶融法の適用

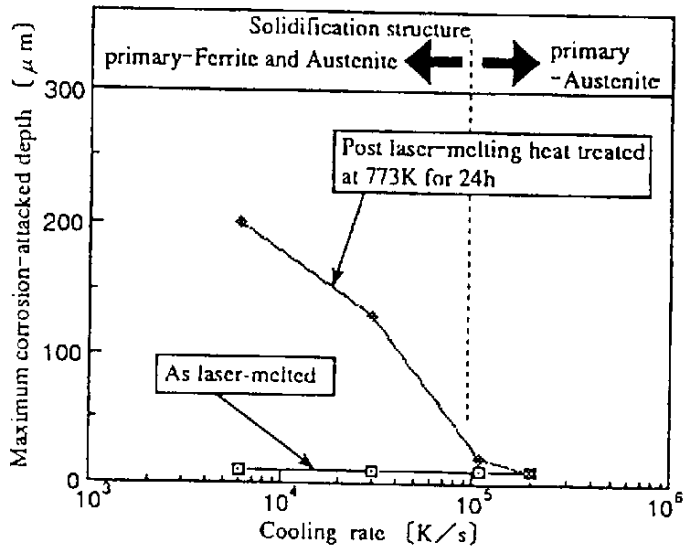


図２－３　ストラウス試験後のレーザー表面溶融部の最大損傷深さに及ぼす冷却速度と凝固組織の影響

性が検討されている。以上のように，各国におけるレーザー溶融表面処理法は，原子力関連の分野で研究・開発が行われている。

2．3　レーザー急速凝固表面処理法と表面アモルファス化

レーザー（表面溶融急冷）急速凝固処理法は，比較的高パワー密度のレーザーを材料表面に短時間パルスまたは高速移動の条件で照射し，表面層のみを溶融させ，その溶融部を自己冷却作用により急冷，急速凝固させる方法である。これらの処理法では，セルラーデンドライト間隔の微細化，ミクロ偏析の低減，固溶限の拡大，準安定相またはアモルファス相の生成などが達成でき，既存材料の特性改善，新素材や新機能材料の創製などの実用的な応用と急速凝固理論の解明の両方の観点から注目された技法である。連続およびパルスレーザー照射による処理結果を比較したところ，パルス照射では熱影響部が狭く，全面処理に有効であり，連続発振での高速処理では線状処理に適することが明らかにされている（大阪大学，1990）。従来より，各種のステンレス鋼（大阪大学，1992）や単結晶アルミニウム合金（大阪大学，神戸製鋼所，1990，1991）を用いて検討され，急速凝固理論との関連で，凝固組織的特徴やミクロ偏析挙動が明らかにされている。特に，凝固速度が速くなると，セル中央部の合金濃度が上昇することが確認されている（大阪大学）。これらの研究はレーザー合金化やクラッディングの基礎にもなる。

2．4　レーザー合金化

レーザー合金化（アロイング）とは，対象とする材料表面に添加したい合金元素，セラミックス等を粉末塗布するか，溶射，蒸着もしくはめっきを施すか，または薄板か箔を置き，それを基板表面と共にレーザー溶融させ，合金化層を作製する方法である。主に，簡便な粉末塗布方式で，合金化に有効な元素とその硬化機構について検討されている。

Ａｌ－Ｓｉ系アルミニウム鋳造合金に対して交差回転CO_2レーザービームを用いたレーザー合金化法により，Ｆｅ，ＮｉおよびＣｕを合金化し，図２－４[6]に示すように，硬化と耐摩耗性の改善が確認されている（名古屋大学，1992，1994）。また，純Ｔｉや純Ａｌの混合粉末とそれにセラミックス（ＳｉＣ，ＴｉＯ，TiB_2，ＴｉＮ）を混合したもの（大阪大学，1993），ＡｌとＦｅ粉末の混合材，ＡｌとＣｕ粉末の混合材（富山県工業技術センター，大阪大学，1993，1994）などを塗布した合金板をCO_2レーザーにより溶融させ，表面硬化や耐摩耗性が改善できることが確認されている。また，生成相の同定が行われ，硬化因子と生成相の関連性が明らかにされている。

アルミニウム合金の硬化処理法は，日本およびヨーロッパにおいて種々の研究・開発が行われてきている。しかしながら，実用化例はまだ報告されていない。一方，レーザーと同様な高パワー密度熱源である電子ビームを用いた合金化法も研究され，めねじなどへの実用化例が報告されている。 したがって，レーザー合金化は高パワーレーザー装置の開発（とその価格の低下）に伴い，実用化されていくものと期待される．

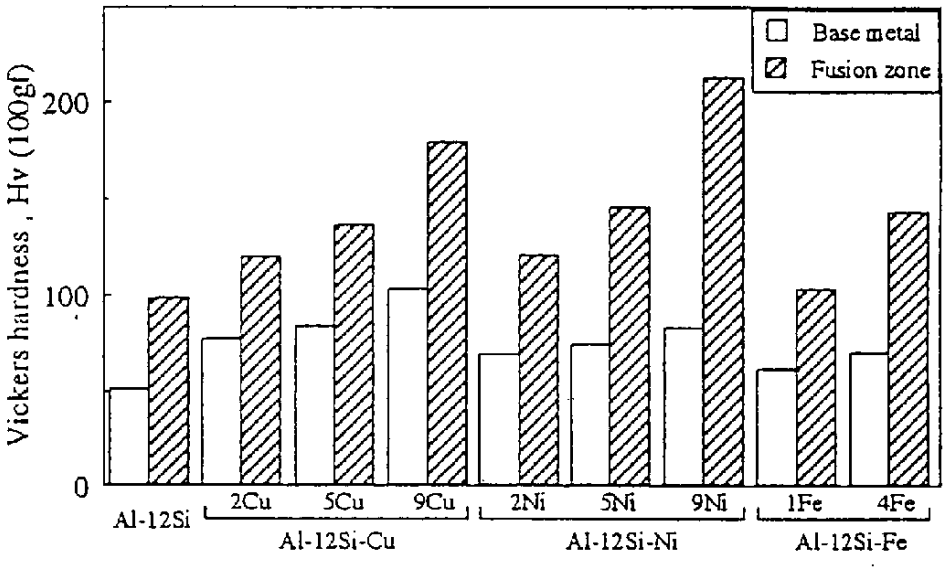


図２－４　Ａｌ－Ｓｉ合金の硬化に及ぼす合金元素とレーザー溶融法の効果

２．５　レーザークラッディング

レーザークラッディング法は，材料表面に金属，合金，化合物，混合物等の粉末を塗布するかまたは供給しながら，基板表面をあまり溶融させないで，主に添加物の溶融凝固層を形成させ，表面特性を供給材で発揮させる方法である。実用化技術も開発され，最も注目されるレーザー表面改質法である。

最近，レーザークラッディング法により得られた高耐久性のＣｏ基およびＮｉ基のエンジンバルブが実用化されている（トヨタ自動車，愛三工業）。また，アルミニウム合金シリンダヘッドも銅系合金がクラッドされ，レース仕様車として市場に投入されている（トヨタ自動車）。 同様の研究開発がヨーロッパの各国でも盛んに行われている。

特に，ファイバー伝送によるＹＡＧレーザーを用いた管内面のレーザークラッディング技術が開発されている（ＩＨＩ，三菱重工業，1994），また，ＷＣ系粉末入りワイヤーを利用する方法も開発されている（ＩＨＩ，1994）。現在，これらが世界的に最も優れたレーザークラッディング技術であろう。

2．6　レーザーPVD法

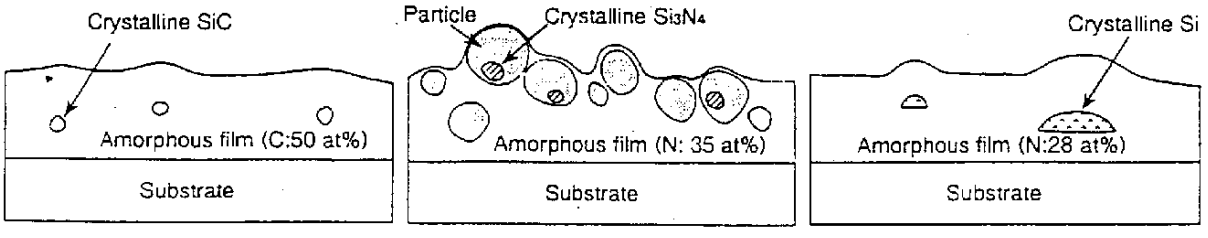
レーザーＰＶＤ法は，高真空中（10 Pa以下）において，CO_2レーザー，ＹＡＧレーザまたはエキシマレーザーをターゲット（通常，セラミックス）に照射し，そこからの蒸発物質を対峙して設置されている基板の表面に堆積させる方法である。　日本とドイツにおいて研究開発が盛んなようである。

ＰＶＤ膜の密着性は，基板温度が高いほど，高いこと，しかし，高温からの冷却による残留応力により膜内に割れが発生する場合があること，残留応力は基板と膜との線膨張係数の差によることなどが明らかにされている（大阪大学，日本工業大学，1991）。また，CO_2レーザー（住友金属工業，1990），ＹＡＧレーザー（大阪大学）およびエキシマレーザー（大阪大学）により，窒化物系ターゲット材からの成膜が試みられている。その結果，いずれのレーザーでも膜中の窒素量がターゲット材に比べてかなり減少することが確認されている。そこで，放電法など他の方法の併用による窒素含有量の増加と膜特性の改善が計られている（住友金属工業，1990）。一時，超電導膜の作製に対しても盛んに検討された（三菱電機，日本鋼管（ＮＫＫ），1991）。

ＰＶＤ膜の生成過程について，蒸発物質をカーボン膜に堆積され，それをＴＥＭで観察した結果，高真空度では原子的な非常に小さい粒子が堆積し，１Pa以上の高真空度ではクラスターもしくは超微粒子が生成し，加熱状態の基板の作用により膜が形成されることが推察されている（大阪大学，1994）[7]。また，ポロシティの多いターゲット材を用いた場合，スパッタが発生しやすいこと，図２－5[7]に示すように，スパッタとして飛翔したものにはターゲットの欠けらと融液の２種類があり，膜中に取込まれることなどが明らかにされている。

ＰＶＤ膜の作製において問題となるのは，スパッタが発生しやすいことと蒸発や蒸着のしやすさが合金元素により異なることであり，通常，膜にスパッタ粒子が付着し，さらに，膜組成がターゲット材の組成と異なることである。

したがって，レーザーＰＶＤ法では，今後，スパッタの発生しない照射条件またはスパッタを膜中に取り込まない方法，所定の膜組成を得る条件などを確立する必要がある。



(a) 99.5% SiC　　(b) 99.2% Si_3N_4 (Porous)　　(c) 92.0% Si_3N_4 (Dense)

図２－５　ＳｉＣおよびSi_3N_4ターゲットから作製したＬＰＶＤ膜の断面の模式図

2．7　レーザー溶射とレーザーによる溶射部の処理法

レーザー溶射法は，日本で開発された方法であり，Ｔｉ，ＴｉＮ，Ｃ－ＳｉＣ繊維強化複合材料などの高機能性の厚膜の作製が試みられている（四国工業技術研究所，愛媛大学，1990-1994）。また，プラズマ溶射とレーザー照射が同時または前後に行える特別なチャンバを開発し，溶射皮膜をレーザーで再溶融させる合金化もしくはクラッディング法が検討され，高硬度で耐摩耗性の優れた厚膜が生成できることが報告されている（大阪大学，松下電工）。

３．結言

以上，最近，研究開発の盛んなレーザー表面改質処理法についてまとめてみた。紙面の都合上，紹介されていないもののある。今後，研究開発者およびレーザーメーカの一層の努力と相互協力などにより広範囲な基礎的な研究成果を実用的な開発に発展させる必要がある。

参考文献

1) 鈴木：第３２回レーザ熱加工研究会論文集，(1994), pp.169-176.

2) G. Funk and W. Muller: Proc. ECLAT '90, (1990), pp.227-236.

3) H.W. Bergmann and E. Geissler: Proc. ECLAT '90, (1990), pp.321-331.

4) 浦城，薩田，松本，加藤，林，玉井，中尾，西本：溶接学会全国大会講演概要，第５４集，(1994)，pp.56-57.

5) C.W Draper, R.E. Woods and L.S. Meyer:Corrosion, Vol.26, No.8 (1980), pp.405-408.

6) 沓名，稲葉：溶接学会全国大会講演概要，第５５集，(1994)，pp.328-329.

7) 松縄，片山，伏屋，日置：レーザー研究，Vol.22，No.11 (1994)，pp.908-916.

１．３　執筆者一覧

希ガス／希ガスイオンレーザー、金属／金属イオンレーザー	（株）日立製作所	竹森　聖
CO_2／COレーザー、機械加工（原子力応用）	三菱重工業（株）	松田　桂一
化学レーザー（ＨＦ、ＤＦ、ヨウ素等）	川崎重工業（株）	熱田　稔雄
アイセーフ固体レーザー（Ｅｒ、Ｔｍ、Ｈｏ等）	慶應義塾大学	小原　實
Ｎｄ：ＹＡＧレーザー	住友重機械工業（株）	酒井　文雄
Ⅲ－Ⅴ族、Ⅱ－Ⅵ族半導体レーザー	東海大学	三上　修
自由電子レーザー	東京大学	大橋　弘忠
波長可変固体レーザー（ｱﾚｷｻﾝﾄﾞﾗｲﾄ、Ti:ｻﾌｧｲｱ等）	日本原子力研究所	有澤　孝
真空紫外、Ｘ線レーザー	理化学研究所	緑川　克美
溶接	（株）神戸製鋼所	芳野　文人
半導体応用	広島大学	廣瀬　全孝
化学応用	物質工学工業技術研究所	矢部　明
計測	筑波大学	谷田貝　豊彦
医用・バイオ分野	防衛医科大学校	荒井　恒憲
機械加工（表面処理）	大阪大学	片山　聖二

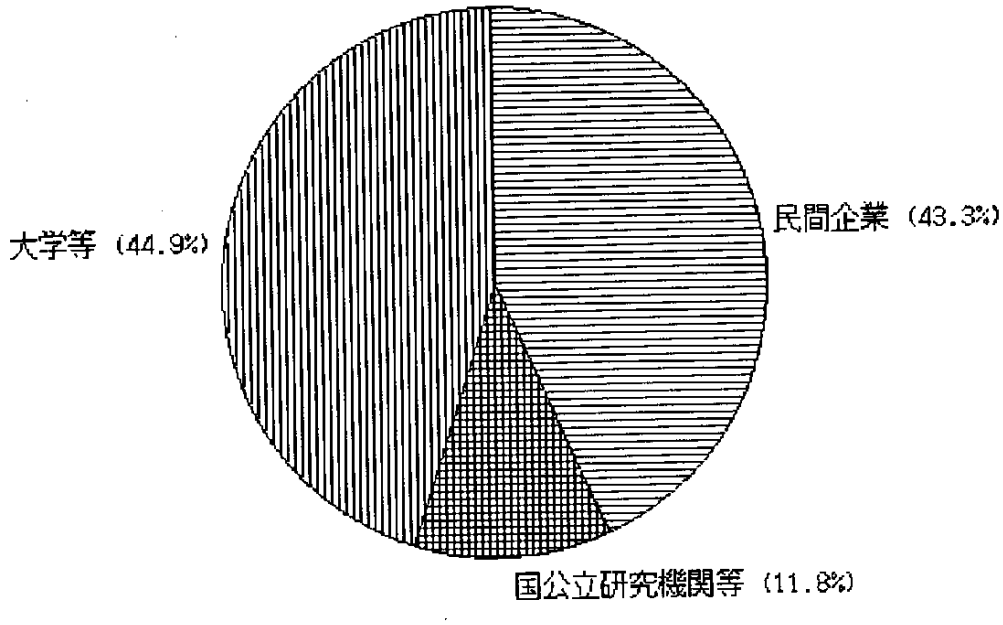
2．レーザー研究者の動向

本データベースではレーザー研究者のデータベース用データをアンケート調査によって収集したが、これは研究者からの自主的なデータ提供によりデータの信頼性を高め、プライバシー問題などの、不特定多数のデータの集積に伴う副次的問題を回避することが目的である。しかし、一方において、多くの研究者からのデータは、それを適切に統計処理することによって、わが国におけるレーザー研究者の動向を把握するための貴重な情報源となる。

今回の事業での研究者を対象としたアンケートでは約380の回答を得た。この回答を集計した結果からみたわが国のレーザー研究者及び研究者が対象とする研究分野などをまとめると次のようになっている。

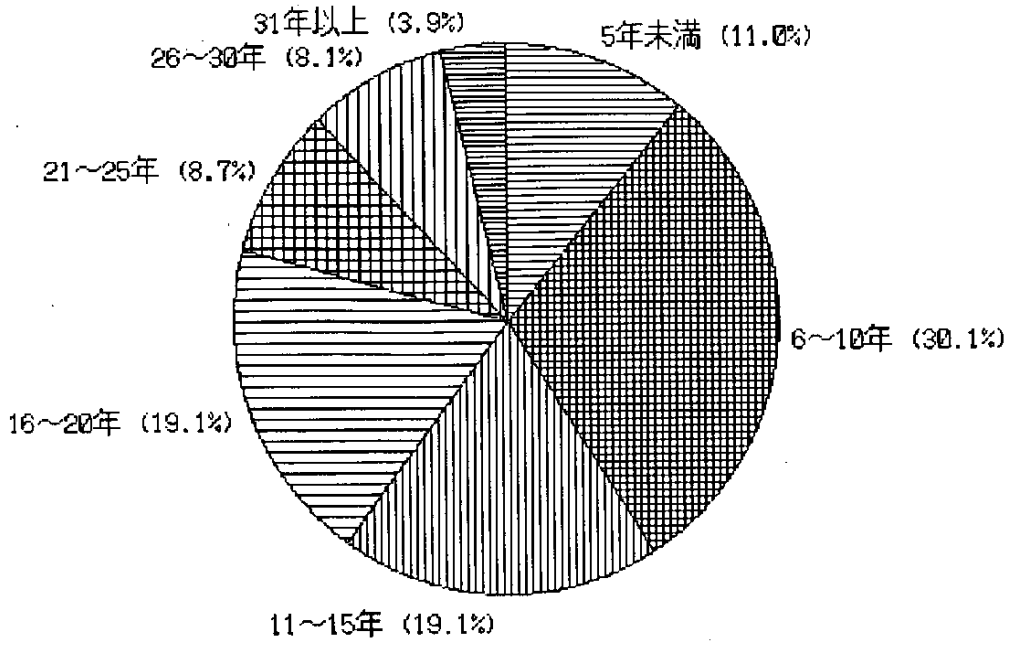
①所属機関別の回答研究者数は民間企業（43%）と大学等（45%）がほぼ同じで、国公立研究機関等は10%と比率的にはかなり少ない（図２－１）。

図2－1　レーザー研究者所属機関属性



②研究者のレーザー関連の経験年数では6～10年が30％と最も多く、次いで11～15年（19％）、16～20年（19％）となっており、中堅クラスが多い。5年未満の若年層は11％にすぎず、また、20年を超える研究者数も20％を超しており、レーザー研究の初期から研究に取り組んでいる人々からの回答も多い（図２－４）。

図2－4　レーザー関連業務従事期間



③研究者の業務内容は技術的業務が中心となっているが、当然のことながら研究開発への従事が最も多く、４分の３の人々は実際に研究を担当している。教育に関しては38％の人々が業務として挙げており、これは大学等の研究者が中心と考えられる（これに関しては所属機関属性とのクロス分析が必要である）。また、管理及び事務的業務では研究・開発管理に５分の１の人々が携わっているが、その他に少数ではあるが企画や経営業務も挙げられている。（図２－２、２－３）

図2－2　レーザー研究者業務内容
A　技術的業務

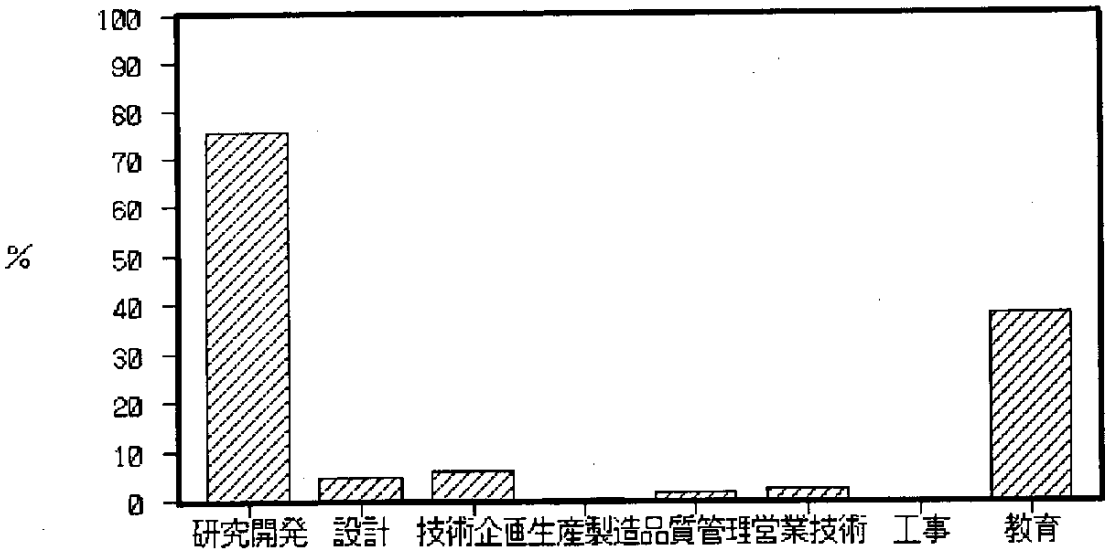
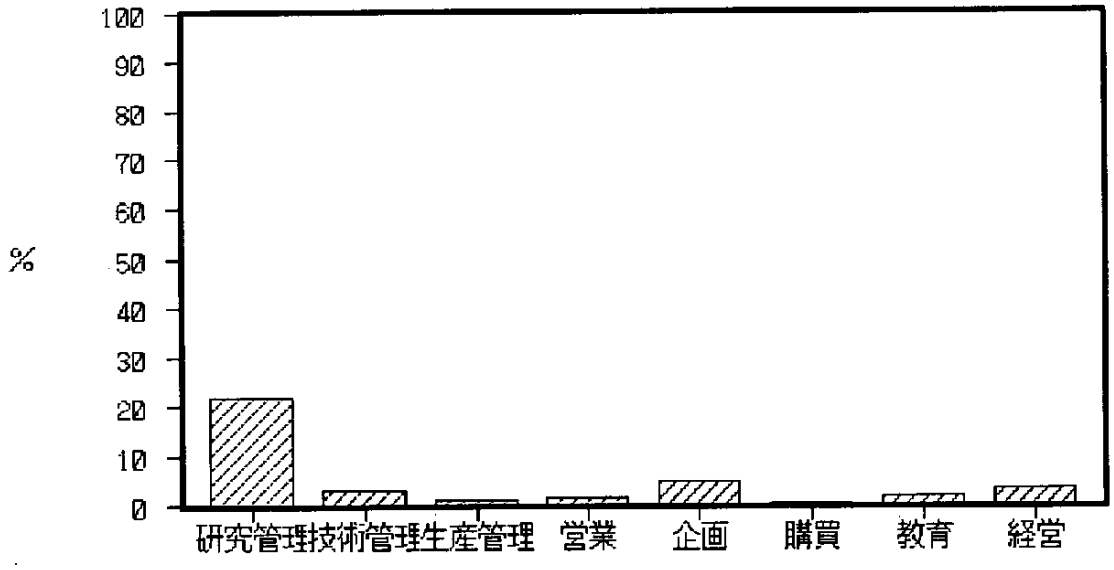
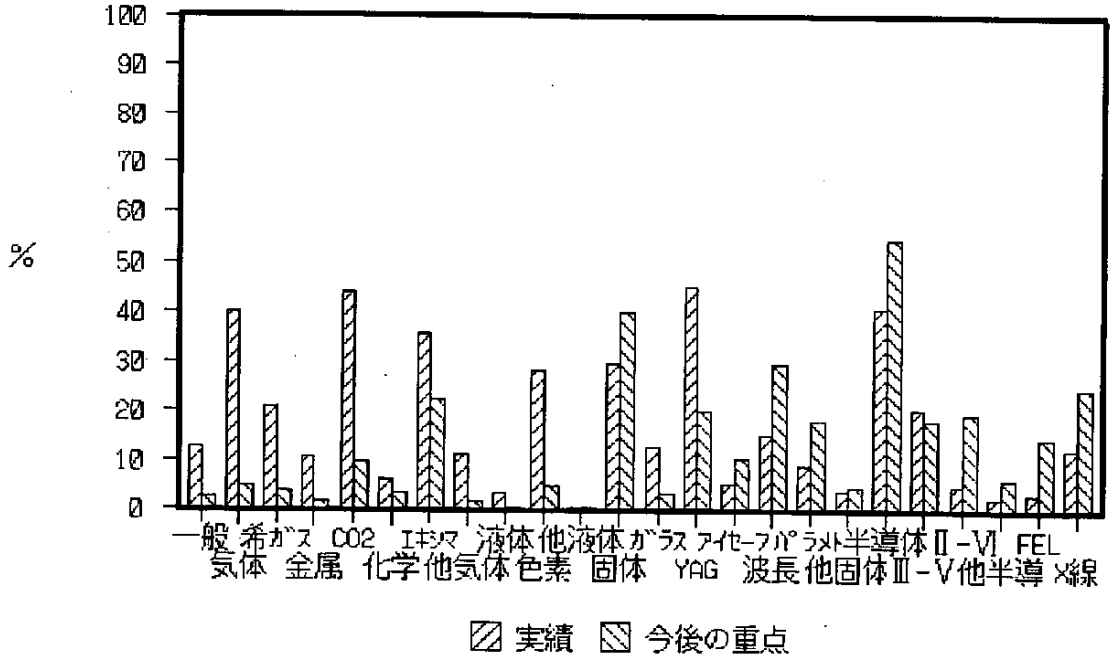


図2－3　レーザー研究者業務内容
B　管理及び事務的業務



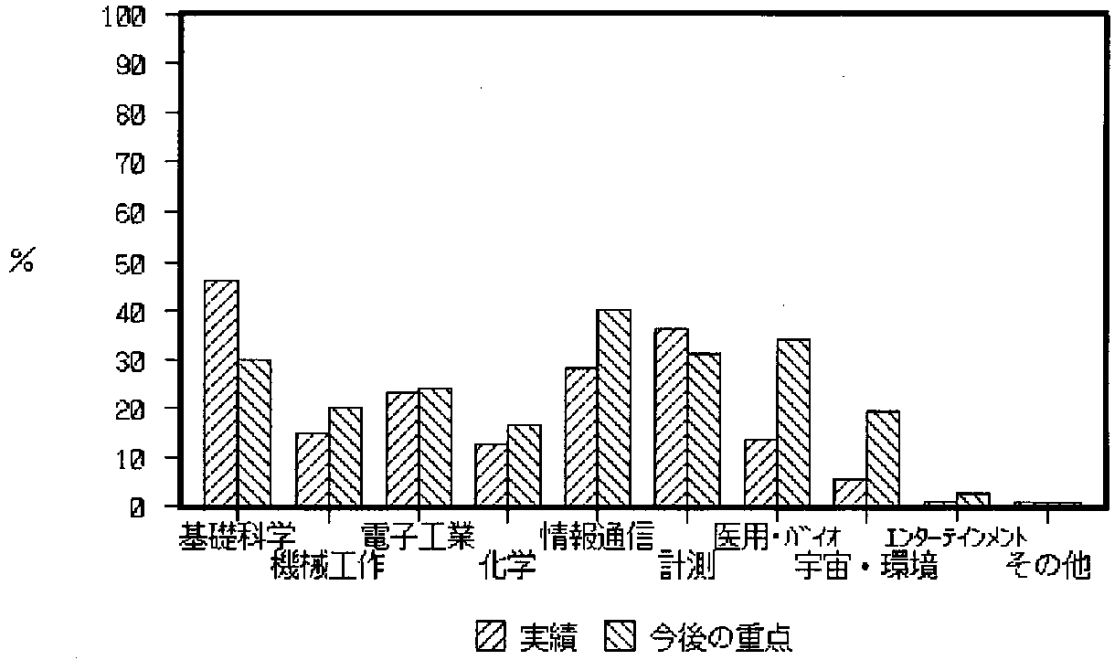
④対象とするレーザーの種別では、実績ではCO_2（44%）、Nd：YAG（45%）を中心としたパワーレーザー、高エネルギーを利用したエキシマレーザー（35%）とⅢ－Ⅴ族を中心とした半導体レーザー（41%）が主なものとなっている。また、古くから使われている希ガスレーザー（21%）、液体レーザーの代表的なものである色素レーザー（20%）なども研究対象として重視されていたと言える。しかし、将来の方向を見ると、「今後の重点分野」と考えられているのは、Ⅱ－Ⅵ族（19%）を含めた半導体レーザー（55%）、利用がしやすく、また用途が広くなる波長可変固体レーザー（33%）や光パラメトリック発振器（18%）、医療用としても注目されるアイセーフ固体レーザー（10%）などの固体レーザー及びよりパワーの大きい、新しい自由電子ﾚｰｻﾞｰ（14%）や真空紫外、X線レーザー（24%）などである。在来型のレーザーでは、エキシマレーザー（22%）とNd：YAGレーザー（20%）は依然として重要研究分野となっている。特に、半導体レーザーへの関心が高いのはその情報・通信用から医療用、パワー用まで幅広い用途のためと考えられる。（図２－５）

図2－5　対象レーザー種



⑤レーザーの応用分野に関しては、実績では基礎科学研究（46％）、計測（36％）、情報・通信（28％）、電子工業応用（23％）が中心で、それに機械工作加工（15％）と医用・バイオ分野（14％）が続いていた。今後の重点分野でもレーザー種別ほどのあまり大きな変化はみられないが情報・通信（28％から40％へ）、医用・バイオ分野（14％から34％へ）、宇宙・環境（6％から19％へ）が大きく伸びることが注目される（図２－６）。このレーザー応用分野とレーザー種別とのクロス分析を取れば今後のレーザー研究でのわが国での重要分野と具体的なレーザー種別を検討することができる。

図2－6　対象レーザー応用分野



レーザー研究者アンケート集計結果

（１）研究者所属機関属性

	実数	%
民間企業	157	43.3
国公立研究機関等	43	11.8
大学等	163	44.9
合計	363	100.0

（２）主たる業務内容

A　技術的業務

	実数	%
研究・開発	274	75.5
設計	17	4.7
技術企画	21	5.8
生産、製造	2	0.6
品質管理、試験安全等	6	1.7
営業技術	8	2.2
工事（ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ）	0	0.0
教育	138	38.0
その他	2	0.6
合計（回答数）	363	100.0

B　管理及び事務的業務

	実数	%
研究・開発管理	79	21.8
技術管理	11	3.0
生産製造管理	4	1.1
営業	6	1.7
企画	17	4.7
購買・資材	1	0.3
ｺﾝｻﾙﾃｰｼｮﾝ、教育	7	1.9
経営	12	3.3
その他	2	0.6
合計（回答数）	363	100.0

（３）レーザー関連業務従事期間

	実数	%
5年未満	39	11.0
6～10年	107	30.1
11～15年	68	19.1
16～20年	68	19.1
21～25年	31	8.7
26～30年	29	8.1
31年以上	14	3.9
合計（回答数）	356	100.0

（４）対象分野

①レーザーの種類

	これまでの実績		今後の重点分野	
	実数	%	実数	%
ﾚｰｻﾞｰ一般	46	12.7	9	2.5
気体ﾚｰｻﾞｰ	144	39.7	18	5.0
希ｶﾞｽ/希ｶﾞｽｲｵﾝﾚｰｻﾞｰ	75	20.7	14	3.9
金属/金属ｲｵﾝﾚｰｻﾞｰ	39	10.7	5	1.4
ＣＯ2/ＣＯﾚｰｻﾞｰ	160	44.1	35	9.6
化学ﾚｰｻﾞｰ	22	6.1	12	3.3
ｴｷｼﾏﾚｰｻﾞｰ	128	35.3	81	22.3
その他の気体ﾚｰｻﾞｰ	40	11.0	5	1.4
液体ﾚｰｻﾞｰ	12	3.3	2	0.6
色素ﾚｰｻﾞｰ	102	28.1	17	4.7
その他の液体ﾚｰｻﾞｰ	1	0.3	1	0.3
固体ﾚｰｻﾞｰ	107	29.5	145	39.9
ｶﾞﾗｽﾚｰｻﾞｰ	45	12.4	12	3.3
Ｎｄ：ＹＡＧﾚｰｻﾞｰ	163	44.9	73	20.1
ｱｲｾｰﾌ固体ﾚｰｻﾞｰ	19	5.2	37	10.2
波長可変固体ﾚｰｻﾞｰ	55	15.2	107	29.5
光ﾊﾟﾗﾒﾄﾘｯｸ発振器	32	8.8	66	18.2
その他の固体ﾚｰｻﾞｰ	14	3.9	16	4.4
半導体ﾚｰｻﾞｰ	148	40.8	198	54.5
Ⅲ-Ⅴ族半導体ﾚｰｻﾞｰ	74	20.4	66	18.2
Ⅱ-Ⅵ族半導体ﾚｰｻﾞｰ	17	4.7	69	19.0
その他の半導体ﾚｰｻﾞｰ	8	2.2	21	5.8
自由電子ﾚｰｻﾞｰ	11	3.0	52	14.3
真空紫外、Ｘ線ﾚｰｻﾞｰ	44	12.1	88	24.2
その他	0	0.0	0	0.0
合計（回答数）	363	100.0	363	100.0

②レーザー応用分野

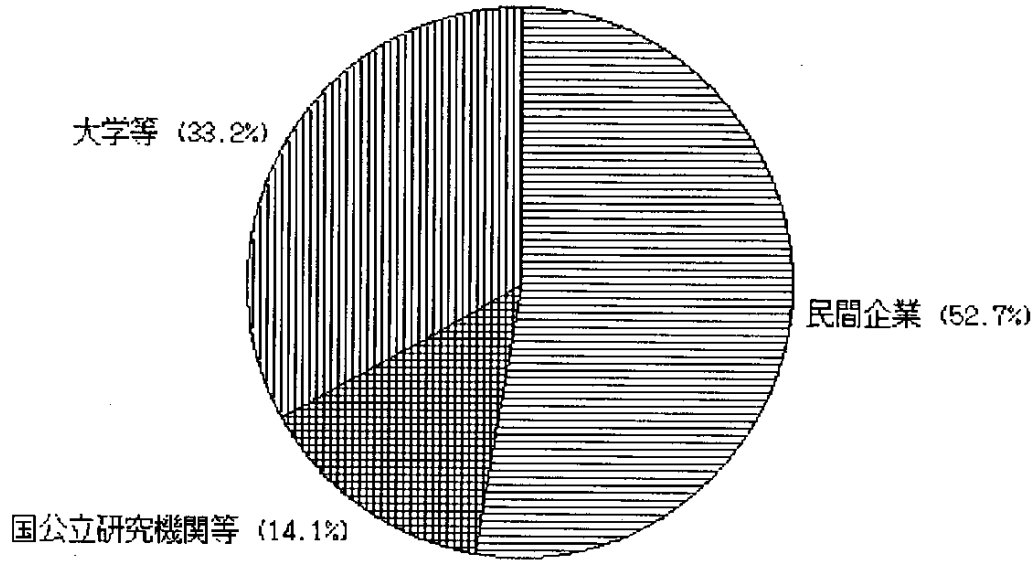
	これまでの実績		今後の重点分野	
	実数	%	実数	%
基礎科学研究	167	46.0	109	30.0
機械工作加工	54	14.9	72	19.8
電子工業応用	84	23.1	87	24.0
化学応用	45	12.4	60	16.5
情報、通信	102	28.1	146	40.2
計測	131	36.1	112	30.9
医用・バイオ分野	49	13.5	123	33.9
宇宙・環境	20	5.5	70	19.3
エンターテインメント	3	0.8	9	2.5
その他	3	0.8	3	0.8
合計（回答数）	363	100.0	363	100.0

３．レーザー研究機関の動向

レーザー研究機関についてもレーザー研究者と同様なアンケート調査によって信頼度の高いデータを得ている。レーザー研究機関からは約260の回答を得ており、これらを基に回答研究機関の状況や将来の研究の方向性を整理できる。

①回答研究機関は民間企業が53％、大学等が33％、国公立研究機関が14％となっている。（図３－１）。この機関別の比率は研究者のアンケート回答の機関別の比率に比べて大学等の回答が多少少ないものとなっている。

図3－1　レーザー研究機関機関属性



②各研究機関の業務内容も研究者の回答と基本的には同じようなパターンになっており、技術的業務が圧倒的に多い。技術的業務の中でも研究開発は88％で実施されており（逆に言えば、研究開発を行っていない機関も12％あることになる）、次いで教育（28％）、設計（18％）、技術企画（9％）が続いている（図３－２）。生産・製造や品質管理、営業技術等の比率は小さいが多少は行われている。管理及び事務的業務についても研究者アンケートと似た結果が得られており、研究・開発管理（15％）と技術管理（9％）、企

画（9%）が主なものとなっている（図３－３）。技術的業務における教育や設計、技術企画など、あるいは管理及び事務的業務などが、３種類の内どの機関で行われているかは機関属性と業務内容とのクロス分析を行うことによって知ることができる。ただし、今回のアンケートだけからでは一時点の断面を見ているだけでこれを基にあまり多くの議論はできない。今後、同様なアンケートが積み重ねられれば、自分の所属する機関の全体の平均的なものとの比較での位置づけや将来のレーザー関連の研究機関の方向性を考えることができるようになるだろう。

図３－２　レーザー研究機関業務内容
Ａ　技術的業務

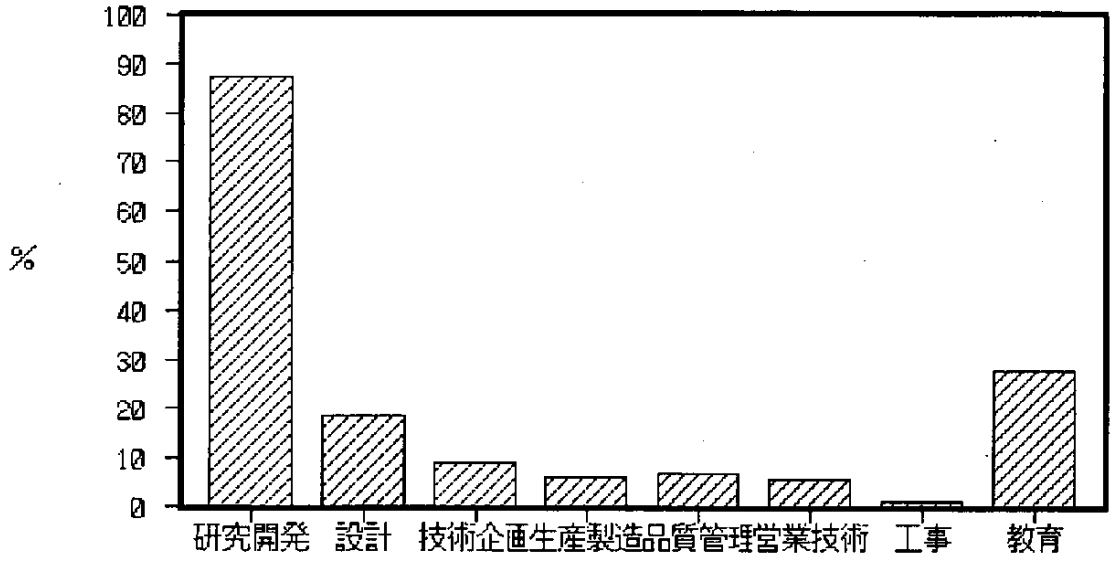
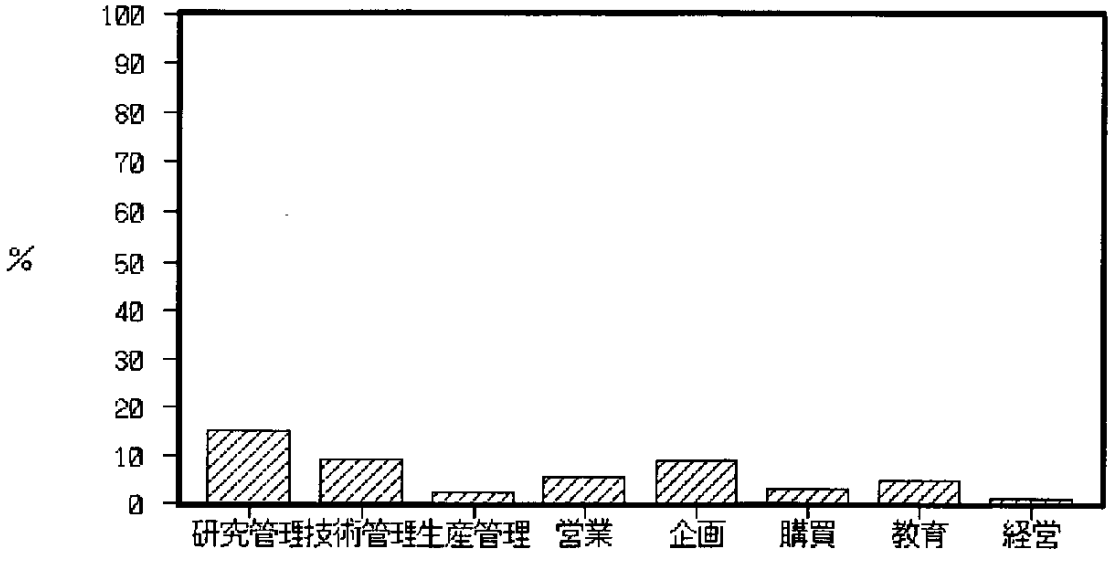
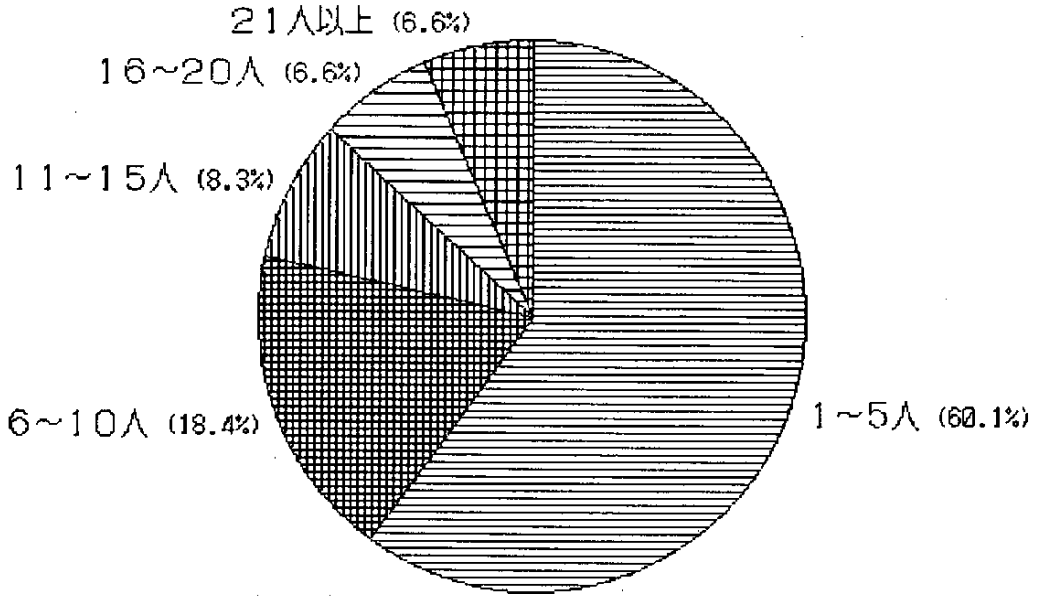


図３－３　レーザー研究機関業務内容
Ｂ　管理及び事務的業務



③各機関のレーザー関連のスタッフ数は回答した機関の単位（会社や研究所全体かあるいは部、課、研究室単位なのか）によって大きく異なるのは当然であるが、今回の回答を平均的なものと考えると、一つの単位としてのレーザー関連のスタッフ数は5人以下が全体の60%を占めた比較的小規模なものと考えられる。したがって、回答データは会社全体や研究所全体と言った形での集約されたものではなく、むしろかなり具体的なものと見てよいであろう。スタッフ数が増えると機関の数が減少して行くが、それでも20%以上の機関が10人を超すスタッフを抱えていることが分かる（図３－４）。研究機関の属性と研究スタッフとの関係も注目される分析であろう。

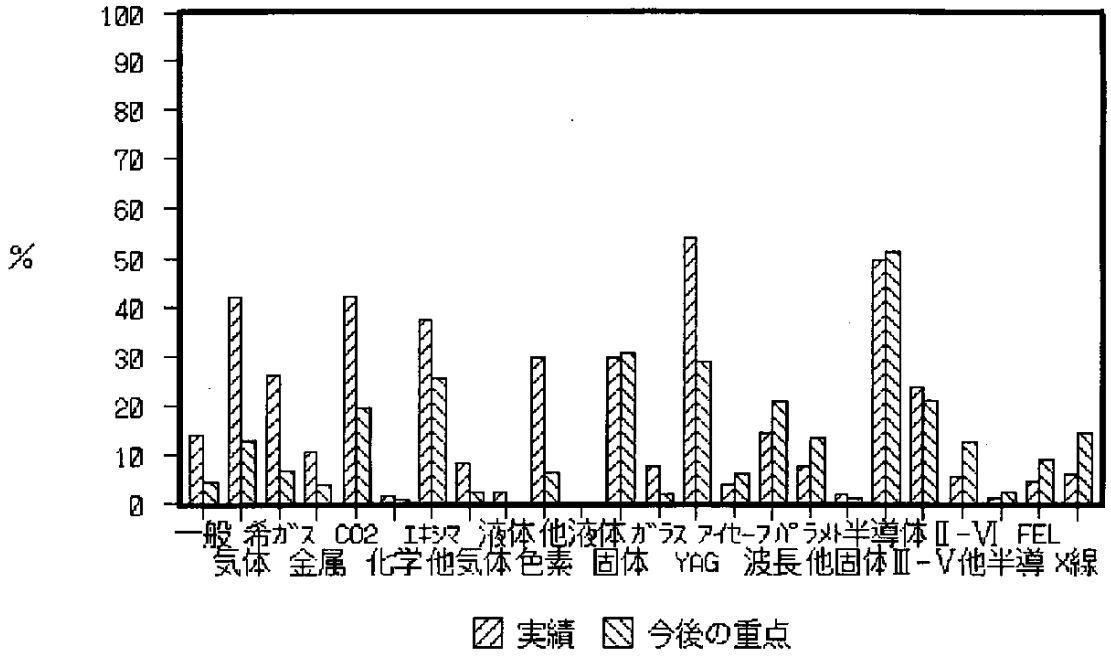
図3－4　レーザー研究機関スタッフ数



④各研究機関で対象とするレーザーの種別の回答結果のパターンも研究者アンケートの結果と驚くほどよく一致している。これまでの実績では、Ｎｄ：ＹＡＧ（54%）、Ⅲ－Ⅴ族を中心とした半導体レーザー（50%）、CO_2レーザー（42%）、エキシマレーザー（42%）、色素レーザー（30%）が主なものであった。今後の重点分野としては、Ⅱ－Ⅵ族が伸びる半導体（51%）、波長可変固体レーザー（21%）の伸びる固体レーザー（31%）と依然としてＮｄ：ＹＡＧ（29%）、エキシマレーザー（25%）、CO_2（20%）が挙げられるが、Ｎｄ：ＹＡＧ、エキシマ、CO_2はこれまでよりもかなり重視度は小さくなる。また、新しいレーザーとして期待される自由電子レーザー（9%）、真空紫外、Ｘ線レーザー（15%）はこれまでよりも飛躍的に伸びることになる。（図３－５）この

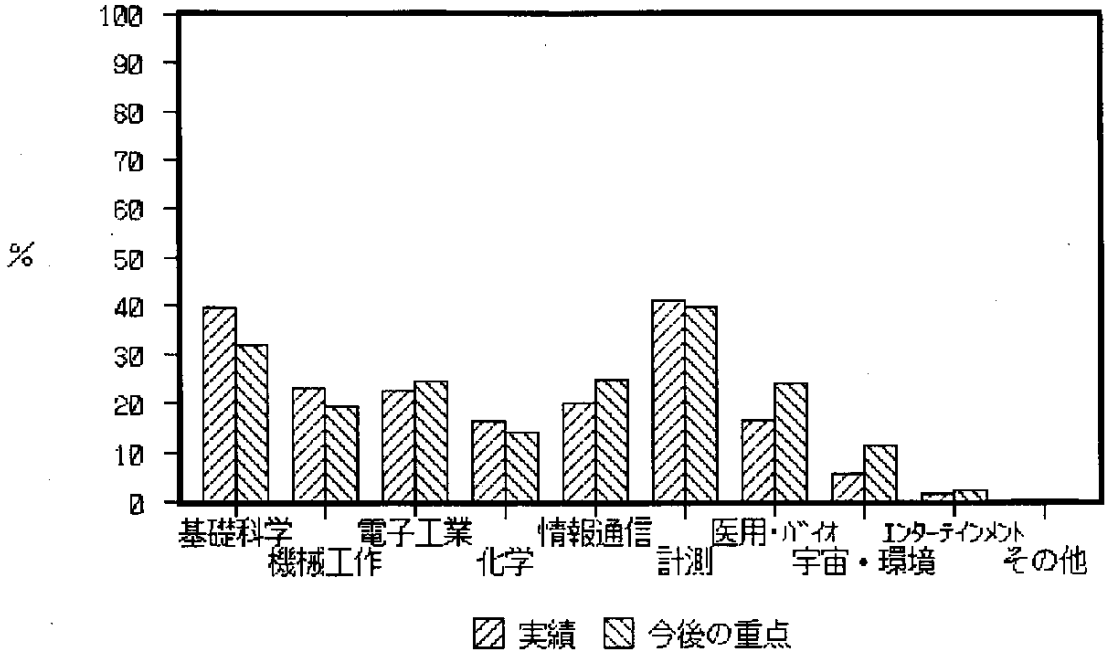
対象レーザーの種別に関しては、機関種別（企業、研究機関、大学等）に分析をすることが今後のレーザー研究の方向性を見る上で多いに役立つことになるものといえよう。

図3－5　対象レーザー種



⑤対象応用分野についても、研究機関の回答と研究者の回答とはかなり似たものとなっている。しかし、研究機関の回答はこれまでの実績では計測（41%）、機械工作（23%）、化学応用（16%）の比率が研究者の場合よりも大きく、情報・通信（20%）と基礎科学研究（40%）の比率が小さくなっている。今後の重点分野では、情報・通信（25%）、医用・バイオ分野（24%）、宇宙・環境（11%）の比率が伸びてはいるが、研究者の回答よりは小さい。また、依然として計測分野（40%）、基礎科学研究（32%）が重視されている。この応用分野については、研究機関の属性（企業、研究所等、大学等）によっても、また、企業の場合にはどのような業種であるかによっても異なるため、さらに具体的にはさまざまなクロス分析をすることが望まれる。

図3－6　対象レーザー応用分野



研究者、研究機関とも同じであるが、本分析はアンケート調査で得られた情報を一時集計した結果を基に行ったものである。さらに詳細な検討については、本データベースを基にして機関属性対対象レーザー、対象分野、スタッフ数、研究者の経験等多くの分析を行うことが望まれる。本データベースではこのような分析を利用者が容易に行えることも一つの重要な特徴と考えている。

レーザー研究機関アンケート集計結果

（１）機関属性別回答数

	実数	%
民間企業	135	52.7
国公立研究機関等	36	14.1
大学等	85	33.2
合計	256	100.0

（２）機関業務内容

A　技術的業務

	実数	%
研究・開発	224	87.5
設計	47	18.4
技術企画	23	9.0
生産、製造	15	5.9
品質管理、試験安全等	17	6.6
営業技術	14	5.5
工事（ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ）	3	1.2
教育	71	27.7
その他	0	0.0
合計（回答数）	256	100.0

B　管理及び事務的業務

	実数	%
研究・開発管理	39	15.2
技術管理	24	9.4
生産製造管理	6	2.3
営業	14	5.5
企画	23	9.0
購買・資材	8	3.1
ｺﾝｻﾙﾃｰｼｮﾝ、教育	12	4.7
経営	3	1.2
その他	0	0.0
合計（回答数）	256	100.0

（３）レーザー関連スタッフ数

	実数	%
１～５人	137	60.1
６～１０人	42	18.4
１１～１５人	19	8.3
１６～２０人	15	6.6
２１人以上	15	6.6
合計（回答数）	228	100.0

（４）対象分野

①レーザーの種類

	これまでの実績		今後の重点分野	
	実数	%	実数	%
ﾚｰｻﾞｰ一般	36	14.1	11	4.3
気体ﾚｰｻﾞｰ	108	42.2	33	12.9
希ｶﾞｽ/希ｶﾞｽｲｵﾝﾚｰｻﾞｰ	67	26.2	17	6.6
金属/金属ｲｵﾝﾚｰｻﾞｰ	27	10.5	9	3.5
ＣＯ2/ＣＯﾚｰｻﾞｰ	108	42.2	50	19.5
化学ﾚｰｻﾞｰ	4	1.6	2	0.8
ｴｷｼﾏﾚｰｻﾞｰ	95	37.1	65	25.4
その他の気体ﾚｰｻﾞｰ	21	8.2	6	2.3
液体ﾚｰｻﾞｰ	6	2.3	1	0.4
色素ﾚｰｻﾞｰ	76	29.7	16	6.3
その他の液体ﾚｰｻﾞｰ	0	0.0	0	0.0
固体ﾚｰｻﾞｰ	76	29.7	78	30.5
ｶﾞﾗｽﾚｰｻﾞｰ	19	7.4	5	2.0
Ｎｄ：ＹＡＧﾚｰｻﾞｰ	138	53.9	74	28.9
ｱｲｾｰﾌ固体ﾚｰｻﾞｰ	9	3.5	15	5.9
波長可変固体ﾚｰｻﾞｰ	37	14.5	53	20.7
光ﾊﾟﾗﾒﾄﾘｯｸ発振器	19	7.4	34	13.3
その他の固体ﾚｰｻﾞｰ	5	2.0	3	1.2
半導体ﾚｰｻﾞｰ	127	49.6	131	51.2
Ⅲ－Ⅴ族半導体ﾚｰｻﾞｰ	60	23.4	54	21.1
Ⅱ－Ⅵ族半導体ﾚｰｻﾞｰ	14	5.5	32	12.5
その他の半導体ﾚｰｻﾞｰ	3	1.2	6	2.3
自由電子ﾚｰｻﾞｰ	11	4.3	23	9.0
真空紫外、Ｘ線ﾚｰｻﾞｰ	15	5.9	37	14.5
その他	0	0.0	0	0.0
合計（回答数）	256	100.0	256	100.0

②レーザー応用分野

	これまでの実績		今後の重点分野	
	実数	%	実数	%
基礎科学研究	101	39.5	81	31.6
機械工作加工	59	23.0	49	19.1
電子工業応用	58	22.7	62	24.2
化学応用	42	16.4	36	14.1
情報、通信	51	19.9	63	24.6
計測	105	41.0	101	39.5
医用・バイオ分野	42	16.4	61	23.8
宇宙・環境	14	5.5	28	10.9
エンターテインメント	4	1.6	6	2.3
その他	1	0.4	1	0.4
合計（回答数）	256	100.0	256	100.0

添　付　資　料

添付資料－１

１９９４年１２月

アンケート調査へのご協力のお願い

（財）応用光学研究所　レーザー技術研究会
会長　難　波　進　（大阪大学名誉教授）
（理化学研究所名誉研究員）

拝啓　時下ますますご清栄のこととお喜び申し上げます。

（財）応用光学研究所は３０年余の歴史を持ち、光学に関する各方面の研究・調査を行って参りました。その傘下のレーザー技術研究会は、産・官・学協力の下にレーザー技術の応用発展をめざし、調査、研究、研究報告会、セミナー、学会支援等多彩な活動をしております。

当会ではレーザーに関する個別技術の評価や動向に関する調査を行っており、「わが国のレーザー加工産業の動向」（デルファイ法によるレーザー加工技術の将来動向の展望）や「わが国におけるレーザー研究の動向」（レーザー及びレーザー応用技術全体についての研究の方向性ならびに、わが国におけるレーザー研究のポテンシャルを測る調査）等の調査をすでに実施しています。

この度当研究会では、レーザー研究開発の振興に資するために、わが国において実施されているレーザー研究、研究者、研究期間など、わが国におけるレーザー研究の状況を的確に把握するための、データベースの構築を企画いたしました。この企画には通商産業省からもご賛同を頂き、財団法人データベース振興センターから委託事業として助成され、鋭意実施をいたしております

本企画では、公開情報（学会誌や学会報告等）をもとに、現在、わが国で実施されているレーザー及びレーザー応用技術の研究情報のデータベース化を目指しております。研究者及び研究機関に関しましても、できるだけ多く本データベースにご登録いただき、レーザー研究の発展のための情報交換や研究の共同化等の種々の研究交流に役立てられることを願っております。

このため、ここでは研究者の方々のレーザー研究活動に関する情報をできるだけ正確に把握し、データベースに登録するために、皆様方に対して直接おうかがいすることが重要であると考え、本アンケート調査を実施することとなりました。

ご多用中とは存じますが、本調査の主旨をご理解いただき、なにとぞ本アンケートにご協力くださるようお願い申し上げます。

敬　具

なお、本アンケートについてのご疑問の点あるいはご意見等は下記までお願いいたします。

〒135 東京都江東区富岡２－５－５－１
（財）応用光学研究所理事（レーザー技術研究会担当）
東海大学理学部教授　藤岡　知夫 TEL:03-3642-4725 FAX:03-3642-4790

添付資料－２

１９９４年１２月

アンケート調査へのご協力のお願い

（財）応用光学研究所　レーザー技術研究会
会長　難　波　進　（大阪大学名誉教授）
（理化学研究所名誉研究員）

拝啓　時下ますますご清栄のこととお喜び申し上げます。

（財）応用光学研究所は３０年余の歴史を持ち、光学に関する各方面の研究・調査を行って参りました。その傘下のレーザー技術研究会は、産・官・学協力の下にレーザー技術の応用発展をめざし、調査、研究、研究報告会、セミナー、学会支援等多彩な活動をしております。

当会ではレーザーに関する個別技術の評価や動向に関する調査を行っており、「わが国のレーザー加工産業の動向」（デルファイ法によるレーザー加工技術の将来動向の展望）や「わが国におけるレーザー研究の動向」（レーザー及びレーザー応用技術全体についての研究の方向性ならびに、わが国におけるレーザー研究のポテンシャルを測る調査）等の調査をすでに実施しています。

この度当研究会では、レーザー研究開発の振興に資するために、わが国において実施されているレーザー研究、研究者、研究期間など、わが国におけるレーザー研究の状況を的確に把握するための、データベースの構築を企画いたしました。この企画には通商産業省からもご賛同を頂き、財団法人データベース振興センターから委託事業として助成され、鋭意実施をいたしております

本企画では、公開情報（学会誌や学会報告等）をもとに、現在、わが国で実施されているレーザー及びレーザー応用技術の研究情報のデータベース化を目指しております。研究者及び研究機関に関しましても、できるだけ多く本データベースにご登録いただき、レーザー研究の発展のための情報交換や研究の共同化等の種々の研究交流に役立てられることを願っております。

このため、ここでは各研究機関でのレーザー研究活動に関する情報をできるだけ正確に把握し、データベースに登録するために、各機関に対して直接おうかがいすることが重要であると考え、本アンケート調査を実施することとなりました。

ご多用中とは存じますが、本調査の主旨をご理解いただき、なにとぞ本アンケートにご協力くださるようお願い申し上げます。

敬　具

なお、本アンケートについてのご疑問の点あるいはご意見等は下記までお願いいたします。

〒135 東京都江東区富岡２－５－５－１
（財）応用光学研究所理事（レーザー技術研究会担当）
東海大学理学部教授　藤岡　知夫 TEL:03-3642-4725 FAX:03-3642-4790

わが国におけるレーザー研究者に関するアンケート調査

アンケートの目的
本アンケート調査は、わが国におけるレーザー及びレーザー応用技術の研究開発に携わっている研究者のデータベースを整備することを目的としています。

調査対象
レーザー及びレーザー応用技術開発分野で活躍をしている学界、研究開発機関、産業界での研究開発担当者を対象としています。対象者はレーザー技術研究会で作成した１９９２年度及び１９９４年度版レーザー関連研究データベース等から抽出されたものです。

ご回答について
各設問に回答方法が示されていますので、それに従ってご回答ください。なおご回答し難い設問についてはご回答いただかなくても結構です。

ご回答結果の取扱い
ご回答はすべて「レーザー研究データベース」に登録し、公開させていただきます。また、ご回答の一部は統計処理され、わが国のレーザー研究の現状の把握に使わせていただきます。なお、ご回答者には統計処理された集計結果をお送りし、謝意に代えさせていただきます。

期限
　　年　月　日までに同封の返信用封筒にてご返送ください。

調査担当及びお問い合わせ
本アンケート調査は(財)応用光学研究所 レーザー技術研究会事務局が担当しております。本調査及びこれに関連した問題についてのお問い合わせは、下記宛にお願いいたします。

〒135 東京都江東区富岡２－５－５－１
(財)応用光学研究所理事(ﾚｰｻﾞｰ技術研究会担当)　電話 03-3642-4725
東海大学理学部教授　藤岡知夫　FAX 03-3642-4790

１．回答者属性

(ふりがな) 氏　名	1	生年		性別	男・女
住　所	2				
企業、機関名	3				
所属部署	4	職名	5		
機関連絡先	6	TEL	7		
		FAX	8		

最終学歴（学科課程等はできるだけ詳しくお書き下さい。）

9	卒業(修了)年 10

職歴

11

主な所属学会

1. 12
2. 13
3. 14

２．主たる業務内容

あなたの現在従事しておられる業務内容をお知らせ下さい（下の欄で該当する項目の番号に○印をお付けください）。

A	技術的業務 15	B	管理及び事務的業務 25
1	研究・開発 16	1	研究・開発管理 26
2	設計 17	2	技術管理 27
3	技術企画 18	3	生産製造管理 28
4	生産、製造 19	4	営業 29
5	品質管理、試験安全等 20	5	企画 30
6	営業技術 21	6	購買・資材 31
7	工事(エンジニアリング) 22	7	コンサルテーション、教育 32
8	教育 23	8	経営 33
9	その他の技術的業務 (具体的に　) 24	9	その他の管理及び事務的業務 (具体的に　) 34

３．レーザー関連業務従事期間

貴方はレーザー関連の研究開発等の業務にこれまでどの程度の期間従事なさったでしょうか（延べの年数でお答え下さい）。

年 35

4．対象分野

(1) レーザーの種類

貴方がこれまで従事なさった業務の対象レーザーの種別と今後重点とすべきとお考えの種別をお知らせ下さい（下表から該当する項目の番号を選び○印をお付け下さい(複数可)）。

これまでの実績	項目		今後の重点分野
36	000	レーザー一般	61
37	100	気体レーザー（一般）	62
38	110	希ガス／希ガスイオンレーザー	63
39	120	金属／金属イオンレーザー	64
40	130	CO_2／COレーザー	65
41	140	化学レーザー（HF、DF、ヨウ素等）	66
42	150	エキシマレーザー	67
43	190	その他の気体レーザー	68
44	200	液体レーザー（一般）	69
45	210	色素レーザー	70
46	290	その他の液体レーザー	71
47	300	固体レーザー（一般）	72
48	310	ガラスレーザー	73
49	320	Nd：YAGレーザー	74
50	330	アイセーフ固体レーザー（Er、Tm、Ho等）	75
51	340	波長可変固体レーザー（アレキサンドライト、Ti：サファイア等）	76
52	350	光パラメトリック発振器	77
53	390	その他の固体レーザー	78
54	400	半導体レーザー（一般）	79
55	410	Ⅲ－Ⅴ族半導体レーザー	80
56	420	Ⅱ－Ⅵ族半導体レーザー	81
57	490	その他の半導体レーザー	82
58	500	自由電子レーザー	83
59	600	真空紫外、X線レーザー	84
( ) 60	900	その他:具体的に	( ) 85

(2) レーザー応用分野

貴方がこれまで従事なさった業務で対象となさったレーザーの主たる応用分野と今後重点とすべきとお考えの分野をお知らせ下さい（該当する項目の番号に○印をお付け下さい。3つ以内）。

これまでの実績	項目	今後の重点分野
86	基礎科学研究	96
87	機械工作加工	97
88	電子工業応用	98
89	化学応用	99
90	情報、通信	100
91	計測	101
92	医用・バイオ分野	102
93	宇宙・環境	103
94	エンターテインメント	104
( ) 95	その他：具体的に	( ) 105

5．最近の主要研究

もし差し支えなければ貴方の最近（原則として5年以内）のレーザーに関係した主要研究開発のテーマをお教え下さい（幾つでも結構です）。

1. 106

2. 107

3. 108

4. 109

5. 110

6. 111

7. 112

8. 113

9. 114

10. 115

（10件以上ある場合には、おそれいりますが11番目からのものを適当な別紙にご記入して同封ご送付下さい）

ありがとうございました。

単純集計の結果を謝意に代えてお送りいたしますが、送付先をご記入下さい。

住所	氏名

わが国におけるレーザー研究機関に関するアンケート調査

アンケートの目的

本アンケート調査は、わが国におけるレーザー及びレーザー応用技術の研究開発に携わっている研究機関のデータベースを整備することを目的としています。

調査対象

レーザー及びレーザー応用技術開発分野で活躍をしている研究・開発機関を対象としています。対象機関はレーザー技術研究会で作成した１９９２年度及び１９９４年度版レーザー関連研究データベース等から抽出されたものです。

ご回答について

各設問に回答方法が示されていますので、それに従ってご回答ください。なおご回答し難い設問についてはご回答いただかなくても結構です。

ご回答結果の取扱い

ご回答はすべて「レーザー研究データベース」に登録し、公開させていただきます。また、ご回答の一部は統計処理され、わが国のレーザー研究の現状の把握に使わせていただきます。なお、ご回答者には統計処理された集計結果をお送りし、謝意に代えさせていただきます。

期限

＿＿＿年＿＿月＿＿日までに同封の返信用封筒にてご返送ください。

調査担当及びお問い合わせ

本アンケート調査は(財)応用光学研究所 レーザー技術研究会事務局が担当しております。本調査及びこれに関連した問題についてのお問い合わせは、下記宛にお願いいたします。

〒135 東京都江東区富岡２－５－５－１
(財)応用光学研究所理事(ﾚｰｻﾞｰ技術研究会担当)　電話 03-3642-4725
東海大学理学部教授　藤岡知夫　FAX 03-3642-4790

１．機関属性

機関名	1		
部署名	2		
所在地	3		
部署責任者（職名）	4	TEL	5
		FAX	6
ご回答者	7	TEL	8
		FAX	9

２．主たる業務内容

貴機関(部署)のレーザーに関する主たる業務内容をお知らせ下さい（該当する項目の番号に○印をお付けください(幾つでも結構です)）。

A	技術的業務	10	B	管理及び事務的業務	20
1	研究・開発	11	1	研究・開発管理	21
2	設計	12	2	技術管理	22
3	技術企画	13	3	生産製造管理	23
4	生産、製造	14	4	営業	24
5	品質管理、試験安全等	15	5	企画	25
6	営業技術	16	6	購買・資材	26
7	工事(エンジニアリング)	17	7	コンサルテーション、教育	27
8	教育	18	8	経営	28
9	その他の技術的業務 具体的に:例えばｼﾞｮﾌﾞ・ｼｮｯﾌﾟなど （　　）	19	9	その他の管理及び事務的業務 具体的に: （　　）	29

３．（レーザー関連）スタッフ数

貴機関（部署）でレーザー関連業務を担当しているスタッフ数をお知らせ下さい。

総数

名	30

←内訳が分かればご記入下さい

内

研究開発開発担当者数	名31
生産担当者数	名32
業務管理担当者数	名33

4．対象分野

(1) レーザーの種類

貴機関でのこれまでの業務で対象となったレーザーの種別と今後重点とすべきとお考えの分野をお知らせ下さい（下表から該当する項目の番号欄に○印をお付け下さい(幾つでも結構です)）。

これまでの実績	項目		今後の重点分野
34	000	レーザー一般	59
35	100	気体レーザー（一般）	60
36	110	希ガス／希ガスイオンレーザー	61
37	120	金属／金属イオンレーザー	62
38	130	CO_2／COレーザー	63
39	140	化学レーザー(HF、DF、ヨウ素等)	64
40	150	エキシマレーザー	65
41	190	その他の気体レーザー	66
42	200	液体レーザー（一般）	67
43	210	色素レーザー	68
44	290	その他の液体レーザー	69
45	300	固体レーザー（一般）	70
46	310	ガラスレーザー	71
47	320	Nd：YAGレーザー	72
48	330	アイセーフ固体レーザー (Er、Tm、Ho等)	73
49	340	波長可変固体レーザー (アレキサンドライト、Ti:サファイア等)	74
50	350	光パラメトリック発振器	75
51	390	その他の固体レーザー	76
52	400	半導体レーザー（一般）	77
53	410	Ⅲ－Ⅴ族半導体レーザー	78
54	420	Ⅱ－Ⅵ族半導体レーザー	79
55	490	その他の半導体レーザー	80
56	500	自由電子レーザー	81
57	600	真空紫外、X線レーザー	82
( ) 58	900	その他:具体的に	( ) 83

(2) レーザー応用分野

貴機関（部署）でのこれまでの業務で対象となったレーザーの主たる応用分野と今後重点とすべきとお考えの主要分野をお知らせ下さい（該当する項目の番号に○印をお付け下さい。3つまで）。

これまでの実績	項目	今後の重点分野
84	基礎科学研究	94
85	機械工作加工	95
86	電子工業応用	96
87	化学応用	97
88	情報、通信	98
89	計測	99
90	医用・バイオ分野	100
91	宇宙・環境	101
92	エンターテインメント	102
( ) 93	その他：具体的に	( ) 103

5．最近の主要研究

もし差し支えなければ貴機関の最近（原則として5年以内）のレーザーに関係した主要研究開発のテーマをお教え下さい（幾つでも結構です）。

1. 104

2. 105

3. 106

4. 107

5. 108

6. 109

7. 110

8. 111

9. 112

10. 113

(10件以上ある場合には、おそれいりますが11番目からのものを適当な別紙にご記入して同封ご送付下さい)

ありがとうございました。

単純集計の結果を謝意に代えてお送りいたしますが、送付先をご記入下さい。

所在地

機関名

担当者名

添付資料－３

データベースデータリスト一式

整理番号	タイトル	要旨	報告種別	研究者（著者）	研究機関	出典
940001	半導体レーザーの発振スペクトル制御、狭線幅化と波長可変	半導体レーザーの性能はここ数年の間に飛躍的に向上した。本総合報告では、半導体レーザーの狭線幅化技術と波長可変技術について述べる。今までに、半導体レーザー単体のスペクトル線幅として3.6kHz、連続波長可変幅として7.2nmという値が報告されている。さらに電気的・光学的制御法により7Hzのスペクトル線幅が、また外部回折格子を用いることにより、非連続ながら240nmの波長可変幅が報告されている。これらの発振スペクトル制御技術は、主に光通信応用をターゲットに1.55μm帯の波長で発展してきたが、その他の波長帯において	総合報告	岡井　誠	日立製作所中央研究所	応用物理1号
940013	光散乱現象研究の展開、単一散乱から多重散乱まで	光散乱の研究は、歴史的にも古く、ある程度確立された分野である。しかし、後方多重散乱光におけるコヒーレント散乱光ピーク現象が実験的に示されて以来、「光のアンダーソン局在の問題」として非常に活発な研究活動が続けられている。多重散乱現象の研究では偏光のような光の波動性が問題になるような場合を除いて、個々の散乱過程を厳格に扱うことはせず、現象をマクロな光波の拡散現象として取り扱う手法がとられており、理論展開のみならず物理的な解釈に関しても大きな成功を収めている。多重散乱現象の研究は、生体計	解説	岩井　俊昭、岡本　卓、朝倉　利光	北海道大学電子科学研究所	応用物理1号
940022	テーブルトップサイズの軟Ｘ線レーザーは可能か？	テーブルトップサイズの軟Ｘ線レーザーの実現は、レーザー研究者のみならず、多くの分野の方々から望まれている。しかし、現状ではその短波長化は、世界最大級のレーザーを用いてもエネルギーが足りないところまできている。今後、短波長化を進めるためには、新しい工夫が必要となっている。現状の方式での小型化は、可能であるか。新しい励起方式によるブレークスルーはありうるのか。一方、最近の超短パルス超高強度レーザーの進展は、原子分子の新しい非線形光学の領域を提供し、Ｘ線レーザーの開発の新しい方向を示唆してい	最近の展望	緑川　克美	理化学研究所	応用物理1号
940027	フォトンリサイクリングとその半導体レーザーへの応用	電流注入型半導体レーザーでは、キャリア注入により自然放出光が発生し、その一部がレーザー光の種となる、そして、誘導放出により増幅され、損失に打ち勝つとレーザー発振が起きる。しかし、ほとんどの自然放出光は、レーザー発振には寄与していない。この自然放出光を光共振器内に閉じ込め、活性層で吸収させれば、キャリアを再生することができる。この現象は、フォトンリサイクリングと呼ばれ、活性層のキャリア密度が大きくなるので、半導体レーザーの発振しきい電流を低減することができる。ここでは、フォトンリサイ	最近の展望	沼居　貴陽	ＮＥＣ光エレクトロニクス研究所	応用物理1号
940031	赤色ＡｌＧａＩｎＰ半導体レーザーの高温・高出力動作	赤色半導体レーザーでは、温度特性の改善が、最も重要な課題であるが、これはＧａＩｎＰ活性層とｐ型ＡｌＧａＩｎＰクラッド層の間の伝導帯のヘテロ障壁が低いため、高温または高注入時に活性層から電子があふれだすことに起因する。この問題を克服するために行った種々の方策、および端面破壊を防止する窓構造について概観する。	最近の展望	相賀　正夫、有本　智	三菱電機㈱光マイクロ波デバイス開発研究	応用物理1号
940035	マイクロマシンのための三次元微細加工技術	マイクロマシンの製作には、立体的な微細加工が不可欠である。マスクパターンを転写することでパターンを一括形成する方法、および集束ビームなどで描画することによってパターンを逐次形成していく方法がある。これらはバルクの微細加工あるいは表面の微細加工に用いられる。転写では、バルク加工用として基板を高速で貫通エッチングできる低温高速ＲＩＥを、また表面加工用として投影光ＣＶＤを開発した。描画では、バルク加工用としてシリコンのレーザー支援エッチング、表面加工用として非平面のポリマー上に金属配線を形成	研究紹介	江刺　正喜、南　和幸	東北大学工学部機械電子工学科	応用物理1号
940039	異種半導体基板の直接密着と光デバイスへの応用	ＩｎＰとＧａＡｓ及びＩｎＰとＳｉの直接密着について、最近の研究結果を紹介する。ＩｎＰ／ＧａＡｓの組み合せでは、ＧａＡｓ基板上に作製したＩｎＰ系半導体レーザーで室温発振を得ることに成功している。ＩｎＰ／Ｓｉでも接着温度を最適化することにより、結晶性を劣化させることなく接着できることが明らかにされた。本技術は光電子集積回路を実用化するための要素技術の一つとして、今後発展が期待される。	研究紹介	和田　浩、上條　健	沖電気工業㈱半導体技術研究所	応用物理1号
940043	分布屈折率型焦点可変ＥＯレンズ		技術ノート（焦点可変レンズ）	芝口　孝、船戸　広義	リコー生産技術研究所	応用物理1号
940045	半導体ヘテロ界面のバンド不連続量の推定とその制御	半導体ヘテロ界面におけるバンド不連続量について、主な計算法と測定法を示す。例えば、Ⅲ－Ⅴ族化合物どうしのヘテロ接合のバンド不連続量については、個々の半導体の性質からほぼ正しく予測できる。しかし、ＧａＡｓとＧｅなどの族の異なる半導体のヘテロ接合では、面方位や界面での原子の占める格子位置などの影響を受ける。また、ＧａＡｓ／ＡｌＡｓヘテロ界面にＳｉを挿入しても、現在の結晶成長技術ではＳｉ原子が数原子層にわたって分布してしまうため、バンド不連続を制御することはできず、単にバンドを曲げているだけ	解説	橋本　佳男、斎藤　敏夫、生駒　俊明	東京大学生産技術研究所	応用物理2号
940053	赤外－可視変換素子、光導電とＥＬの複合化素子	光導電体層(Photo-conductor:PC)と電場発光体層(Electroluminescence:EL)を積層したＰＣ－ＥＬパネルからなる新しい赤外－可視変換素子を開発した。光導電材としてＣｄＳｅを用いたTypeＡは、750から1050nmに感度を有し、その最大検出感度は輝尽蛍光体を用いた市販蛍光体プレートの約50倍であった。このタイプはＩＲＶＩＣＯＮの商標で市販している。ＰｂＳを用いたＰＣ－ＥＬパネル（TypeＢ）は、1.3、1.5μm帯の変換用に開発した。赤外－可視変換蛍光体(Infrared to visible upconversion phosphors:IUP)とＰＣ－ＥＬとを組み合	研究紹介	岸　明人、海老谷　益志、南谷　隆敏、	日亜化学工業株式会社	応用物理2号

940057	Ga2Se3における空孔の規則配列と光学異方性	Ⅲ－Ⅵ族化合物半導体であるGa2Se3の結晶成長を分子線エピタキシー法を用いて行った。その結果、GaP基板上へのGa2Se3のエピタキシャル成長に成功するとともに、成長条件によりGa空孔が規則配列することを見出した。さらに、透過スペクトルの偏光特性からGa空孔が規則配列したGa2Se3の光学的異方性について検討し、波長525nm付近の光に対する吸収係数差が、10E4cm-1以上と極めて大きいことを見出した。これらの結果より、Ga2Se3は半導体的性質を示すとともに、光学的異方性を示す材料として特異な存在であ	研究紹介	山田　明、小長井　誠	東京工業大学工学部	応用物理2号
940061	スピンクロスオーバー錯体の光誘起低スピン・高スピン転移と今後の展望	最近、［Fe(ptz)6］（BF4）2（ptz＝1-propyltetrazole）など数種類のスピンクロスオーバー錯体で、光誘起低スピン・高スピン転移が報告されている。これは、光照射により低スピン状態の基底状態から励起状態に遷移した電子が、基底状態に緩和する過程で、無視できない確率で高スピン状態の最低準位にトラップされるからである。ここでは、スピンクロスオーバー錯体の光誘起低スピン・高スピン転移の原理と、光記録材料としての可能性について解説する。	最近の展望	小島　憲道	京都大学理学部化学科	応用物理3号
940065	共焦点型レーザー走査顕微鏡		技術ノート（微細磁区構造の観察）	福澤　健二	ＮＴＴ境界研究所	応用物理3号
940067	レーザーレーダーによる大気計測、計測手法とその応用	レーザーレーダーは、レーザーの最も古くからの応用分野の一つである。Qスイッチパルスレーザーが開発されてまもなく、レーザーレーダーによる高層大気の観測が報告された。その後、レーザー技術の進歩に伴って、地球物理学的な観測ばかりでなく、大気汚染計測を目的とする各種のレーザーレーダー技術が開発されてきた。近年の地球環境研究分野におけるレーザーレーダーの活躍は特に目ざましく、オゾン層の観測などにおいて観測手段の一つとして欠くことのできないものとなっている。一方、半導体レーザー励起固体レーザーや	総合報告	杉本　伸夫、竹内　延夫	国立環境研究所、千葉大学映像隔測研究セン	応用物理5号
940078	光周波数標準研究の最近の展開	長さの単位「メートル」を現示する波長標準の研究は、光領域でのレーザーの周波数制御や、安定化の研究と密接不可分である。量子エレクトロニクス、原子・分子の精密分光学などがこれらの技術を支えている。時間の単位「秒」を現示する周波数標準との一体化を進めるうえで、より普遍的で高精度の光周波数標準の実現が欠かせない。原子・イオンのレーザー冷却・操作技術の研究が活発化しているなかで、これを利用した高精度次世代標準の開発が現実のものとなりつつある。また、可視・紫外領域の周波数測定技術の分野にも新たな展	解説	伊藤　信彦	計量研究所	応用物理5号
940085	アイ・セイフ固体レーザー	レーザーは、高精度、高純度スペクトルという長所を有するため、学術的にも、産業的にも非常に魅力ある光源であるが、反面、眼に対しては非常に危険な凶器ともなる。発振波数1.4μm以上のレーザーは、この波長領域での水の吸収が強いため、レーザー光が眼底深くまで達せず網膜破壊を起こしにくいため、眼に対し安全すなわち“アイ・セイフ・レーザー(Eye-safe laser)”と呼ばれ、近年、安全対策の面からも注目を浴びている。ここでは、希土類をレーザーイオンとした1.5μm～4.5μm近辺で発振するアイ・セイフ(eye-safe)固体レ	最近の展望	浅井　和弘	東北工業大学工学部通信工学科	応用物理5号
940090	光マニピュレーション、マイクロ駆動源	光の圧力は生物学における細胞操作、マイクロ化学におけるかくはん・添加・分別など、光ピンセット手段として利用されている。一方、最近ではマイクロマシンなど電気的アクセスが困難な分野で、微小物体の駆動源としても注目されている。本稿ではこのような光マニピュレーション技術の応用領域の拡大－加減速→トラップ（捕捉）→回転駆動－とその動作原理を解説する。特に、微小物体の回転駆動については、光による運動エネルギーの伝達（マイクロ駆動源）という観点から紹介する。	研究紹介	浮田　宏生、日暮　栄治	ＮＴＴ境界領域研究所	応用物理5号
940094	地球動力学研究におけるレーザー干渉法	地球動力学研究のために用いられているさまざまな干渉計について、最初に述べた、レーザー伸縮計は、微小な地殻ひずみ変化を定量的に検出できるが、得られる情報が1軸方向のひずみ変化に限られる。そこで、多次元的な地殻ひずみ変化を同時に観測するために、ホログラフィー干渉法を導入した、その結果、潮汐力によって引き起こされるトンネルの変形を、ホログラム上に表れる干渉じまのパターン変化としてとらえることに成功した。さらに、ホログラフィー干渉法の弱点である湿式の写真処理を避けるために、電子式スペックル・パタ	研究紹介	竹本　修三	京都大学理学部地球物理学教室	応用物理5号
940098	ＳＬＲ（衛星レーザー測距）	人口衛星レーザー測距（Satellite Laser Ranging:SLR）は、衛星に搭載された逆反射器（キューブコーナーリフレクター）に当てたパルスレーザー光の往復時間の測定により、地上から衛星までの距離を求めるものである。世界各地に設置されたＳＬＲ局において得られた測距値の処理・解析により、大陸間の地殻変動などが測定されている。本稿では、ＳＬＲの現状と得られた成果について紹介する。	技術ノート（宇宙を利用した地殻変動の観	佐々木　稔	海上保安庁	応用物理5号
940100	トリスタン入射・蓄積リングによる高輝度放射光の特性と応用	トリスタン入射・蓄積リングに世界初の真空封止型のX線アンジュレーターを光源とする実験ステーションが建設され、パルスでかつ高輝度の放射光の利用実験が可能となった。実験に利用できるX線の強度と特徴を具体的に示すとともに、そこで行われた実験の幾つかを紹介する。	解説	張　小威、安藤　正海	高エネルギー物理学研究所	応用物理6号
940108	ＺｎＭｇＳＳｅ系緑色及び青色半導体レーザーの室温連続発振	ＧａＡｓに格子整合し、ＺｎＳｅに対し電子とホールがヘテロ（多層）構造において空間的に同一の層に閉じ込められるようなバンド構造（タイプⅠヘテロ構造）を保ちつつ、エネルギーギャップを4.5eV近くまでとることができるＺｎＭｇＳＳｅをクラッド層として採用したＺｎＣｄＳｅ／ＺｎＳＳｅ／ＺｎＭｇＳＳｅ分離閉じ込め型ヘテロ構造(separate confinement heterostructure)において、緑色及び青色の半導体レーザーの室温連続発振を達成した。	研究紹介	石橋　晃	ソニー㈱中央研究所	応用物理6号

940112	内殻準位の励起によるＢａＦ2結晶での紫外光誘導放出	アンジュレータ光によりフッ化バリウム結晶を強く励起したとき、オージェ・フリー発光が誘導放出する可能性が実験的に示された。この発光は185nmから240nmに広く分布し、紫外波長可変固体レーザーへの応用が考えられる。またこの光増幅過程は、従来のように電子遷移に着目するよりも、正孔（ホール）遷移に伴う分布反転の形成という観点からよく理解される。	研究紹介	伊藤　寛、伊藤　稔	香川大学教育学部物理教室、信州大学工学	応用物理6号
940116	励起子系の非線形光学現象	十分長いコヒーレント長をもつ励起子を共鳴励起するとき、3次の非線形分極率χ(3)(-ω;ω,-ω,ω)が増大し、また励起子の超放射によって速いスイッチングが可能となる。この励起子系が示す多彩な非線形現象の理論的な予測と観測例を解説する。特に、多励起子系の超放射特性、多励起子の束縛状態であるn-stringの理論と観測例、一次元メゾ系特有な励起子ポラリトンのコヒーレント発光、三次元系で初めて起こる励起子ボース凝縮と弱局在による位相共役光の増大を紹介する。	総合報告	花村　榮一	東京大学工学部物理工学科	応用物理9号
940128	半導体中の輻射場の量子制御	光の量子力学的状態をいかに操作するかという問題は、量子光学の中心的課題である。こうした光の量子操作のうち、自然放出光の制御とサブ・ポアッソン光の発生を半導体微細構造で実現できれば、半導体発光素子の抜本的な高性能化を期待し得る。この二つの興味深い現象の背後にある物理が明らかにされ、この分野の最近の発展様子が概観される。	総合報告	山西　正道	広島大学工学部電子物性	応用物理9号
940141	微粒子の光捕捉・操作とレーザー発振	レーザー光の放射圧を利用し、さまざまなマイクロメートルオーダーの微粒子を非接触に遠隔操作することが可能となった。最近ではこの光捕捉法を利用して、微小領域における力学計測や分光測定、そしてマイクロマシンの組み立てや駆動制御などの研究が行われている。一方、マイクロメートル微粒子を光共振器とした微粒子レーザー発振は、微小な光スイッチや光メモリーなど、新しい光素子としての応用が注目されているが、光捕捉法により、この微小レーザー光源を三次元的に自在に操る技術が開発された。本稿では、ともに光の散乱	解説	三澤　弘明	徳島大学工学部機械工学科	応用物理9号
940149	超流動ヘリウム中の原子の物理	超流動状態の液体ヘリウム中に導入した中性原子は、気体や固体、他の液体中とは違った独特のエネルギー構造や振る舞いをする。しかし、液体ヘリウム中に中性原子を導入するのに技術的な困難があり、最近まで実験がほとんどされていなかった。われわれはレーザースパッタ法を開発し、種々の原子や分子を、直接、液体ヘリウム中で生成することに成功した。ここでは、特にわれわれが実験に成功したアルカリ原子を中心に、その光学的特性や光ポンピングによるスピン偏極、光-高周波（マイクロ波）二重共鳴実験を紹介し、未解決の問題	最近の展望	鈴崎　努、木下　俊哉、福田　浩一、高橋	京都大学理学部物理学教室	応用物理9号
940154	光領域の周波数コム発生器	レーザーとレーザーとの間の差周波数を広範囲に測定するために、光領域の周波数コム発生器を開発した。モノリシック共振器型の光周波数コム発生器を用い、7THzの範囲に広がる光周波数コムが発生したことを示した。さらに、発生させた光周波数コムに含まれる側波帯の一つに地方のレーザー光を位相同期させ、0.5THzの周波数間隔をもつ2台のレーザー間の差周波数と位相を安定化させることに成功した。光周波数コム発生器は光通信や、高精度物理計測への広い分野へ応用が可能である。	研究紹介	興梠　元伸、大津　元一	東京工業大学総合理工学研究科	応用物理9号
940158	量子ナノ構造を有する半導体レーザー	われわれは半導体ナノ構造の作製技術の確率を図り、光微小共振器中における光子ー電子（あるいは励起子）相互作用の積極的な制御を行うことにより、次世代の光デバイスの実現を目指して研究を進めてきている。本稿では、まず、量子細線レーザーに関するこれまでの研究の主な流れについて述べる。その後に、われわれのナノ構造の作製技術に関する最近の研究成果を議論する。さらに、この作製技術を用いることにより試作した微小共振器型量子細線レーザーを紹介する。最後に量子ナノ構造を有するレーザーを展望する。	研究紹介	荒川　泰彦	東京大学生産技術研究所	応用物理9号
940163	共鳴フォークト効果を用いた原子・分子の高感度検出	微量の原子・分子を検出する高感度分光法の一つに、対象試料に磁場を印加し、誘起された光学的異方性スペクトルを測定する磁気光学効果分光法がある。原子あるいは単純な分子の試料に外部磁場を印加すると、試料の共鳴線近傍の入射光に対して、ゼーマン効果に起因する大きな光学的異方性が誘起される。本稿では、入射光路と外部磁場の方向が互いに垂直に配置された場合の光学的異方性（フォークト効果）を、入射光の偏光変化として検出する高感度分光法について、その原理及び実際の測定例を紹介する。	研究紹介	室尾　和之、田久保　嘉隆、山本　學	東京農工大学工学部応用物理学教室	応用物理9号
940167	半導体レーザーによる高調波発生	半導体レーザーを用いた高調波発生、特に第2高調波発生（ＳＨＧ）の基礎を論じた。ＳＨＧの原理、位相整合の方式、疑似位相整合、導波路モードの利用などを考察した。そのうえに、半導体レーザーに、ＳＨＧのための構造などを作り付ける方式を基本に据え、将来の可能性を提案した。さらに、最近の実例を述べた。	研究紹介	松枝　秀明	高知大学理学部情報科学科	応用物理9号
940171	Optimization of Glass Composition for Er3+ 1.53μm Emissions	Energy transfer processes among Nd3+, Yb3+ and Er3+ ions were investigated. The energy transfer efficiency was calculated from lifetime measurement and compared to the resulting emission intensity. The emission intensity originating from the 4I13/2 level of Er3+ was mainly determined by the energy transfer efficiency from Yb3+ to Er3+ in Nb3+, Yb3+ and Er3+ doped glasses. However, the fluorescence from the 4I13/2 level of Er3+ was strongly dependent on the concentration ratio of Er3+ to Yb3	研究	B. Peng, X. Zou, T. Izumitani	ＨＯＹＡ	光学２号
940177	出力一定ＦＭレーザーダイオードとその干渉計測への応用		研究	高橋　佳孝、大出　暢之、芳野　俊彦	群馬大学工学部電気電子工学科	光学２号

940182	ビームウエスト径を固定してウエスト位置を可変する光学系		技術報告	小野 雄三、宮崎 宏之	日本電気㈱光エレクトロニクス研究所、日本	光学２号
940187	フレッシュマンのための現代光学－Ⅶ、ＳＨＧ光学（２）		講義	立野 公男	㈱日立製作所中央研究所	光学２号
940195	高精度測距技術		解説	松本 弘一	計量研究所量子部	光学２号
940201	機械加工のためのインプロセス計測技術		解説	河野 嗣男	東京都立科学技術大学	光学３号
940206	光スキッド粗さ測定法	光干渉を用いる高精度測定法において、設置環境からくる主な外乱は、音、床の振動、空気の擾乱、電気雑音などである。通常の環境下で、音や床振動による干渉計の振動振幅を0.1μm以下に抑えるのは容易ではないと思われる。参照面と測定面が一体型のアームで保持できない場合は、振動の影響は非常に重大である。超高精度粗さ計測ではその環境下で0.0001μmオーダーの凸凹を測定する必要がある。加えて、参照面の粗さが与える影響も考慮すべきである。参照面以上の面も測定対象になるからである。しかし、これらの影響を除去できる	最近の技術から	安達 正明	金沢大学工学部	光学３号
940232	光コンピューティングシステムの実装技術		解説	北山 研一	ＮＴＴ伝送システム研究所	光学４号
940240	Ｄ－ＶＳＴＥＰとその応用		最近の技術から	河合 滋、笠原 健一	日本電気㈱光エレクトロニクス研究所	光学４号
940242	波長可変受動モード同期ＤＢＲ－ＬＤ		研究	荒平 慎、大柴 小枝子、松井 康浩、	沖電気工業㈱半導体技術研究所	光学４号
940249	生物分子モーターのナノ操作と動作原理		解説	原田 慶恵、齋藤 究、石島 秋彦、柳田	新技術事業団生体運動子プロジェクト、㈱本	光学５号
940256	ライフサイエンスのための新しい光学顕微鏡とその応用		最近の技術から	宮川 厚夫	浜松医科大学光量子医学研究センター	光学５号
940258	光パラメトリック発振器の光化学治療への応用		最近の技術から	鈴木 英夫、平野 達	浜松ホトニクス㈱中央研究所、浜松ホトニク	光学５号

940260	反射光の微分による自動焦点検出機能を備えたレーザー光描画装置の開発		研究	山本 英樹、雑賀 喜昭	米子工業高等専門学校	光学５号
940265	位相変調型空間光変調器を用いた光相関システム		研究	豊田 晴義、吉田 成浩、阿坂 直久、小林	浜松ホトニクス㈱中央研究所	光学５号
940271	光ディスクのマスタリング技術の現状と課題		解説	大木 裕、柏木 俊行	ＳＯＮＹ㈱総合研究所	光学６号
940275	波長351nm、ＮＡ0.90の光記録用対物レンズ	ここ数年光ディスクの大容量化のため原盤作成系にも記録波長の短波長化、対物レンズの高ＮＡ化が求められている。我々は波長351nm用ＮＡ0.90の対物レンズを製作し良好な性能を得た。ここに短波長高ＮＡのマスタリング用レンズの設計と製造について我々の製作したレンズの構成と特徴をもとに述べる。	最近の技術から	丸山 晃一	旭光学工業㈱研究開発センター光学研究部	光学６号
940277	ＬｉＦ結晶のＦ3+色中心による位相共役光発生	Nonlinear optical materials produce time-reversed light. The Fe3+ color centers in LiF crystal are confirmed to generate phase conjugate waves at a wavelength of 460 nm. In addition to the experiment of generation of phase conjugate waves by the F3+ color centers in LiF crystal, we describe the nonlinearity of the F3+ color centers, which is caused by the saturation of optical absorption.	技術報告	坪井 泰住、顧 洪恩	京都産業大学工学部、天津大学物理系	光学６号
940281	3.5ｲﾝﾁ光磁気ディスクの新機軸ーその２		さろん	米澤 成二	㈱日立製作所中央研究所	光学７号
940284	飽和吸収による光波混合特性		解説	宮永 滋己	室蘭工業大学電気電子工学科	光学８号
940291	ＬＤアレイ・飛び越し走査によるマルチビーム走査光学系		研究	伊藤 昌夫、石井 昭、太田 猛史、龍岡	富士ゼロックス㈱画像技術研究所・システム	光学８号
940297	ＬＤ励起自己周波数逓倍マイクロチップＮＹＡＢレーザーにおける熱誘起位相不整合		研究	加藤 嘉巳、尾松 孝茂、下瀬川 正幸、長	千葉大学工学部画像工学科	光学８号
940302	Fabry-Perot 形超短共振器の共振器長測定		技術報告	蝦名 和仁、氏原 紀公雄	電気通信大学電子工学科	光学８号
940306	Ｘ線レーザーのコヒーレンス		解説	加藤 義章	大阪大学レーザー核融合研究センター	光学９号

940312	結像系を用いたX線顕微鏡		解説	青木 貞雄	筑波大学物理工学系	光学9号
940319	高輝度放射光の発生と利用	21世紀の先端的科学分野で幅広い応用が期待されている高輝度放射光について、その応用の将来を展望するため、その発生原理、研究の現状及びその利用について第一線の研究者にわかりやすく解説した。	特集	山崎 鉄夫	電子技術総合研究所	日本原子力学会誌7号
940322	放射光、夢の光－放射光の利用と応用	「光はあらゆるものを生み出すエネルギー」である。人間の五感の中で視覚がもっとも優れており、日常生活のみならず研究、さらには生産において直接あるいは間接に光を利用していることはよく知られたことである。20世紀後半になって新しい光－レーザーと放射光が一登場し、自然認識のための道具が新たに加わった。ここでは放射光について解説する。	知りたい用語・気になる概念	安藤 正海、東保男	高エネルギー物理学研究所放射光実験施設、	日本機械学会誌6月
940326	複数の測定子を用いた真直度測定法において測定子の空間周波数特性の違いが測定結果に及ぼす影響		論文	奥山 栄樹、清野 慧、守時 一	秋田大学、東北大学工学部	日本機械学会論文集2号
940333	レーザーを用いたパーソナルコンピューター制御微圧力計（第2報、光学系の配置）		論文	西堀 賢司、李 向軍	大同工業大学、中国瀋陽化工学院	日本機械学会論文集2号
940339	非磁性一成分現像方式を用いたレーザビームプリンタにおけるブレード押圧方法の検討		論文	西垣戸 貴臣、奥名 健二、大塚 英史、	㈱日立製作所機械研究所、㈱日立製作所情報	日本機械学会論文集4号
940344	レーザによる微小粒子分析技術の改良		論文	山崎 功夫、大木 博、三宅 亮、金子 紀	㈱日立製作所機械研究所、㈱日立製作所電子	日本機械学会論文集5号
940350	真空ポンプ機能をもつレーザスキャナ用動圧形空気軸受（ポンピング特性の実験結果）		論文	伊藤 幸夫、吉本 成香、阿武 芳朗、川端	東京理科大学大学院、東京理科大学工学部、	日本機械学会論文集6号
940356	紫外線感光性樹脂を使ったマイクロストラクチュアの製造（第2報、描画法におけるビーム形状と硬化特性）		論文	中本 剛、山口 勝美、Petros Abraha ABBA	名古屋大学工学部、名古屋大学大学院	日本機械学会論文集7号
940364	モリブデン粉末によるステンレス鋼のレーザ表面合金化	Fundamental characteristics of laser surface alloying was investigated. Surface alloying carried out on SUS304 stainless steel using molybdenum powder as the alloying element, and the effect of different laser irradiation conditions was studied. The microstructure and chemical components of laser alloyed layer were analyzed, and the characteristics of the laser-alloyed layer were invesigated in terms of wear resistance and corrosion resistance.		野口 修一、北原 洋爾、佐藤 幸弘、富江	大阪府立産業技術総合研究所、大阪大学溶接	高温学会誌7月
940371	ジルコニア／ニクラリー複合プラズマ溶射皮膜の熱異方性に関する定量的評価			柴田 浩幸、早稲田 嘉夫、福本 昌宏、	東北大学素材工学研究所、豊橋技術科学大	高温学会誌1月

940379	有限要素法によるレーザーフラッシュ示差3層試料法を用いた液体の熱拡散率測定における熱損失の検討			早稲田嘉夫、太田弘道、柴田浩幸、	東北大学素材工学研究所、茨城大学、東北	高温学会誌5月
940388	高分子膜のエキシマレーザー光化学プロセッシング	紫外レーザーであるエキシマレーザーを使用して、高分子材料の超精密エッチングや新たな表面改質技術が生まれている。フッ素樹脂の親水化による微細なパターンの無電解めっき法も見い出された。ここでは、高分子の爆発的な分解反応であるアブレーションの利用や高分子膜表面での光化学反応の活用による高分子材料の高機能化を紹介する。		矢部明、新納弘之	物質工学工業技術研究所極限反応部レーザー	高分子3月号
940392	高分子材料の光学的性質	有機ポリマーの屈折率と透明性について化学構造との関連ならびに有機物なるが故の限界を概説した。また、光学材料として要求されるそれらの性質のレベルは使用目的によってさまざまである。目的に合致した素材モノマー及びポリマーの選択、素材の高純度化、加工条件の検討が重要であるとした。	特集－高分子光学材料	大塚保治	慶應義塾大学、三菱レイヨン	高分子4月号
940397	光部品	光部品や光インタコネクションへの応用をめざしてポリマー光導波路が注目されている。われわれは重水素化あるいはフッ素化ポリマー材料を用いて低損失埋め込み型光導波路を作製した。さらにこの導波路を用いて、種々の基本的な光回路を作製した。本稿ではこれらの材料・構成、導波路作製方法、基本的光学特性について今後の課題も含めて述べる。	特集－高分子光学材料	今村三郎	日本電信電話㈱光エレクトロニクス研究所光	高分子4月号
940402	光記録材料	コンパクトディスク、レーザーディスクをはじめとして、ＣＤ－ＲＯＭ、ミニディスク等光メモリーは広く私達の生活に浸透している。光メモリーはさらに高速化・高密度化の方向にあり、これに対応して超解像、短波長化技術あるいは材料の開発研究が盛んに行われている。これらの研究開発の現状及び今後の展望について述べる。	特集－高分子光学材料	田村眞一郎、瀬戸順悦	ソニー㈱中央研究所材料研究部	高分子4月号
940407	液晶ディスプレイ、視角の拡大と明るさの改善	液晶ディスプレイ（ＬＣＤ）は今日、情報端末用に広く用いられている。本稿においては、はじめにＬＣＤの動作モードを紹介し、それらを用いて“電子の紙”となり得る可能性を持った技術について述べた。さらにラビング配向処理を必要としないアモルファスＴＮ－ＬＣＤの特性において視角特性及び中間調表示特性が著しく改善されることを紹介した。	特集－高分子光学材料	小林駿介	東京農工大学工学部電子情報工学科	高分子4月号
940411	プラスチック精密光学部品	プラスチック光学部品にとってはその成形性が重要であり、特に高精度な非球面形状を得るためにさまざまな成形技術が開発されている。また材料的課題のうち、温度変動には温度補償機構が、吸湿には低吸湿樹脂が効果的なようだ。さらなる進展のためには樹脂材料開発とともに、より安定な射出成形システムの構築が必要である。	特集－高分子光学材料	草野正明、田中日出男	㈱ニコン生産技術本部、㈱ニコン工作技術部	高分子4月号
940416	高屈折率光学材料		特集－高分子光学材料	笹川勝好	三井東圧化学㈱総合研究所有機材料研究部	高分子4月号
940417	光散乱ポリマー導光体		特集－高分子光学材料	小池康博	慶應義塾大学理工学部	高分子4月号
940418	偏光板と位相差板		特集－高分子光学材料	東浩二	住友化学工業㈱樹脂開発センター	高分子4月号
940419	液晶／高分子複合体		特集－高分子光学材料	郡島友紀	旭硝子㈱中央研究所	高分子4月号

940420	光チューブ		特集－高分子光学材料	内藤　壽夫	㈱ブリヂストン研究開発本部	高分子4月号
940421	高分子科学最近の進歩、光プローブ法	光プローブ法を用いる高分子の構造、配向や分子運動の研究は近年盛んに行われている。この方法は、プローブを使うという欠点にもかかわらず、測定感度が良く、分子オーダーでの距離やナノ秒時間領域での緩和時間が測定できるという長所のために近年益々重要性を増している。ここでは近年興味ある成果が得られつつある蛍光偏光法、エネルギー移動法、エキシマー蛍光法を用いた研究を中心に述べる。	連載	山本雅英、伊藤紳三郎	京都大学工学部	高分子6月号
940426	ポリアニリン自立膜の導電性に対する分光学的評価	溶剤に可溶なポリアニリン粉末を合成し、キャスティングにより平滑な自立膜を得た。90～150℃で熱処理した試料をpH0.5～6の硫酸水溶液に浸漬しその導電率を測定した。pH値が低いほど、また熱処理温度が低いほど導電率は高くなった。試料の導電率は赤外吸収スペクトルの高波数側に生じるバックグラウンドピークと正確に対応しており、赤外吸収スペクトルの測定から導電率が評価できることがわかった。	ノート	椿原啓、樋口一、岡田和之、坂本	近畿大学工学部電子情報工学科、㈱リョーサ	高分子論文集2号
940429	高分子の複屈折の計算法と実測による検証	高分子の一次構造から、配向時の複屈折を予測するための計算法2種について検討した。まず、小量のポリマーの複屈折の実測法を工夫し、定量性を確認した。実測置は、溶液キャスト法により作成したサンプルフィルムを、定荷重下、定変形速度で熱延伸した試料の、透過光の位相の遅れ測定により求めた。次に、伸びきり鎖の分極率異方性から屈折率異方性を計算し、複屈折を求めた。分極率の計算法として、結合分極率のベクトル和から算出する方法、及び半経験的分子軌道計算による方法の2法を試した。実測値と計算値を比較検証したところ		相川　泰	東洋紡績㈱総合研究所	高分子論文集4号
940436	ＫｒＦエキシマレーザー照射によるポリイミドの表面電導	ポリイミドにＫｒＦエキシマレーザーを照射することにより照射量の増加に伴う表面導電率の増加が認められた。照射の進行につれ、表面に突起が生じる。この突起は照射とともにその寸法を増大させることがＳＥＭにより観察された。照射部は酸素、窒素成分が失われていることがＸＰＳ分析より明かとなっており、表面導電性の発現は照射による表面の炭素化であることが示された。	ノート	椿原啓、竹田雅之、岡田和之、坂本	近畿大学工学部電子情報工学科、京浜コーポ	高分子論文集5号
940439	長寿命を有するホスト・ゲスト型有機非線形光学材料	ホスト高分子の特性と、ホスト・ゲスト型有機非線形光学材料の非線形性の緩和の様子の比較検討を目的とした。検討に先立ち、他の材料に対するのと同様にホスト・ゲスト型有機非線形光学材料に対してもアレニウス・プロットによる寿命評価が妥当であることを実験的に確認した。ついでその寿命評価法を用いた実験から、実用上重要である非線形感受率の遅い緩和成分の寿命を長くするには、ガラス転移温度の高いホスト高分子を用いること及びホスト高分子とゲスト分子間の相互作用を利用することが効果的であることを、また遅い		松岡芳彦、鈴木彰美	ＨＯＹＡ㈱材料研究所	高分子論文集7号
940444	熱処理したポリアニリン膜の分光特性	種々の熱処理温度のもとでポリアニリンの分光特性を測定した。キノイド構造に関係した600nm帯の吸収とベンゼノイドの300nm帯の吸収が確認された。600nm帯の吸収が熱処理温度の増加に伴い単調に短波長側にシフトするのに対し、300nm帯の吸収は190℃まではほとんど変化せず、それ以上の温度領域で短波長側にシフトした。その温度領域ではキノイドの相対吸光度（キノイドの吸光度をベンゼノイドのそれで除した値）も低下する。これら可視紫外、赤外吸収スペクトルから酸素が寄与する分子鎖間架橋が生じていると推論された。	ノート	椿原啓、岡村洋、岡田和之、坂本	近畿大学工学部電子情報工学科、近畿大学工	高分子論文集
940447	レーザー割断		解説	沖山　俊裕	双栄通商㈱技術室室長	精密工学会誌2号
940451	整形線状ビームによる三次元レーザー加工		論文	田中　義弘、徳永剛、宮崎　俊行	東京職業能力開発短期大学校、職業能力開発	精密工学会誌3号
940456	ＬＤ周波数変調光ファイバ変位センサ（第3報）－性能向上の試み－		論文	下河辺明、唐東雷、安田勝彦、佐藤	東京工業大学精密工学研究所、㈱東京精密、	精密工学会誌3号
940461	半導体レーザーによる焦点反射回折変位計		論文	山下　忠興、中島浩貴、安井　平司、永島	熊本大学工学部、松下電器産業㈱技術部門	精密工学会誌3号

940466	レーザービーム集光形状制御光学系の開発		論文	古市　修身、浜田　直也、南田　勝宏	新日本製鐵㈱エレクトロニクス研究所	精密工学会誌５号
940471	レーザー照射による放電加工面の改質		論文	田村　武夫	新潟大学工学部	精密工学会誌６号
940476	ミラー揺動方式レーザー裁断機の開発研究（第１報）－光学設計－		論文	石井　明、岩佐　辰弥、安井　公治	元三菱電機㈱、三菱電機㈱	精密工学会誌６号
940480	ミラー揺動方式レーザー裁断機の開発研究（第２報）－精度と誤差補償－		論文	石井　明、原　正一郎、三宅　展明	元三菱電機㈱、三菱電機㈱	精密工学会誌７号
940485	光造形法におけるレーザー光学系の理論解析		論文	楮原　弘之、斎藤　勝政	北海道大学工学部	精密工学会誌７号
940490	位相共役・アダプティブ光学が開く高品質光ビームの世界		展望	松本　弘一	計量研究所	精密工学会誌８号
940494	位相共役光学の基礎と現状		解説	黒田　和男	東京大学生産技術研究所 教授	精密工学会誌８号
940499	位相共役波を用いた半導体レーザーヘテロダイン干渉法		解説	石井　行弘	職業能力開発大学校	精密工学会誌８号
940504	位相共役光を用いた機能的欠陥検査		解説	加藤　純一	理化学研究所	精密工学会誌８号
940510	非接触超音波測定のための位相共役波の応用		解説	永井　聰、中野　英俊、松田　洋一	計量研究所	精密工学会誌８号
940515	加工用ハイパワーレーザービームの高品質化		解説	吉田　國雄、吉田　英次	大阪工業大学、大阪大学工学部	精密工学会誌８号

940520	アダプティブ光学による光ビーム制御の現状 －天文学への応用－		解説	高見 英樹	国立天文台 助手	精密工学会誌８号
940526	光造形法における光学解析 －レーザーパワー密度分布の同定手法－		論文	椿原 弘之、斎藤 勝政	北海道大学工学部	精密工学会誌８号

レーザー研究者　データ　リスト

	1．研究者	所属機関名	4．対象ﾚｰｻﾞｰ種別(従来)
1	尾崎　太	科学技術庁　金属材料技術研究所	気体、エキシマ、色素、固体
2	遠藤　道幸	通商産業省工業技術院　電子技術総合研究所	気体、希ガス、ＣＯ2、色素、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ
3	谷本　充司	通商産業省工業技術院　電子技術総合研究所	気体、ＣＯ2、エキシマ、固体、ガラス
4	小林　智	ＮＥＣ	レーザー、ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ
5	野田　義稔	大分大学	気体、色素、固体、波長可変固体、その他固体
6	信吉　輝己	岡山理科大学	レーザー一般、ＣＯ2、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ、波長可変固体、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
7	二宮　英樹	㈱四国総合研究所	レーザー一般、金属、ＣＯ2、エキシマ、その他気体、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体
8	佐久川　貴志	㈱明電舎	レーザー電源
9	大橋　弘忠	東京大学	自由電子、真空紫外・Ｘ線
10	高柳　健治	足利工業大学	気体、ＣＯ2
11	岩井　泰弘	三洋電機㈱	半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体
12	宮島　義昭	ＮＴＴアクセス網研究所	気体、希ガス、金属、ＣＯ2、化学、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ、波長可変固体、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
13	鈴木　美寿	動力炉・核燃料開発事業団	気体、金属、ＣＯ2、エキシマ、その他気体、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、その他固体
14	宮城　光信	東北大学	ＣＯ2、アイセーフ
15	鈴木　薫	日本大学	気体、ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ
16	小柴　正則	北海道大学	気体、半導体
17	村岡　克紀	九州大学	レーザー一般、気体、希ガス、ＣＯ2、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、真空紫外・Ｘ線
18	増田　渉	長岡技術科学大学	気体、ＣＯ2、エキシマ
19	阪上　幸男	岐阜大学	固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ
20	東　博純	㈱豊田中央研究所	ＣＯ2、エキシマ、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、真空紫外・Ｘ線

21	伊藤　晴康	浜松ホトニクス㈱	色素、波長可変固体
22	木田　英機	㈱トーメー	希ガス、Ｎｄ：ＹＡＧ
23	荒川　則雄	㈱アドバンテスト	半導体
24	末田　正	摂南大学	ＣＯ2、その他気体
25	柴山　耕三郎	三菱電機㈱	ＣＯ2
26	松永　亨	ＮＴＴネットワークサービスシステム研究所	Ⅲ－Ⅴ族半導体
27	枝川　登	ＫＤＤ	Ⅲ－Ⅴ族半導体
28	今仲　行一	オムロン㈱	希ガス、ＣＯ2、Ⅲ－Ⅴ族半導体
29	須田　亮	理化学研究所	気体、ＣＯ2、化学、エキシマ、色素、固体、波長可変固体、光パラメトリック、真空紫外・Ｘ線
30	藤本　治男	防衛庁	ＣＯ2、化学、Ｎｄ：ＹＡＧ
31	小野　公三	住友電気工業㈱	気体、ＣＯ2、エキシマ、その他気体、液体、色素、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、光パラメトリック、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
32	竹森　聖	㈱日立製作所	金属、ＣＯ2、エキシマ
33	赤崎　正則	福岡工業大学	レーザー応用プラズマ計測
34	川崎　昌博	北海道大学	希ガス、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、光パラメトリック
35	冲野　芳弘	松下電器産業㈱	気体、希ガス、金属、半導体
36	森内　孝彦	日東電工㈱	
37	内田　禎二	東海大学	レーザー一般、気体、希ガス、ＣＯ2、その他気体、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
38	天野　覚	ＨＯＹＡ－ＳＣＨＯＴＴ㈱	固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ、その他固体
39	今岡　洋	㈱オプトサイエンス	ＣＯ2、固体、半導体
40	大和田野芳郎	通商産業省工業技術院　電子技術総合研究所	レーザー一般、ＣＯ2、エキシマ、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、真空紫外・Ｘ線
41	堀内　賢治	東京ガス㈱	気体、Ⅲ－Ⅴ族半導体

42	八井　浄	長岡技術科学大学	気体、CO2、エキシマ、色素、固体
43	金田　道寛	日本赤外線工業㈱	レーザー一般、金属、CO2、その他気体、液体、色素、固体、Nd：YAG、アイセーフ、波長可変固体、その他固体
44	服部　肇	名古屋市工業研究所	CO2、Nd：YAG
45	中野　人志	近畿大学	エキシマ、色素、固体、ガラス、Nd：YAG
46	阪井　清美	郵政省　通信総合研究所	CO2、その他気体、
47	中井　貞雄	大阪大学	レーザー一般、CO2、固体、ガラス、Nd：YAG、光パラメトリック、半導体、自由電子、真空紫外・X線
48	漆原　秀夫	日本通信機㈱	半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
49	永松　克明	中部電力㈱	CO2、Nd：YAG
50	磯田　英夫	東洋紡績総合研究所	希ガス、CO2
51	岡田　俊治	松下電器産業㈱	CO2、Nd：YAG、その他固体
52	片山　聖二	大阪大学	CO2、Nd：YAG
53	島崎　仁司	京都工芸繊維大学	半導体
54	大図　章	日本原子力研究所	気体、金属、エキシマ、色素、Nd：YAG、半導体
55	金子　守男	㈱サレデン	
56	越後　敬介	㈱不二越	レーザー一般、エキシマ
57	熊谷　寛	理化学研究所	気体、エキシマ、Nd：YAG、波長可変固体
58	大津　元一	東京工業大学	気体、その他気体、Nd：YAG、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体、その他半導体
59	新納　弘之	通商産業省工業技術院　物質工学工業技術研究所	エキシマ
60	岩瀬　春彦	山一電機㈱	Ⅲ－Ⅴ族半導体
61	伊藤　弘昌	東北大学	CO2、Nd：YAG、波長可変固体、光パラメトリック、その他固体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
62	丸谷　洋二	大阪産業大学	希ガス、金属、CO2、Nd：YAG

63	金辺　忠	大阪大学	レーザー一般、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ
64	池田　正宏	福山大学	気体、希ガス、ＣＯ2、エキシマ、液体、色素、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、光パラメトリック、その他固体、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
65	中村　賢志	㈱四国総合研究所	気体、エキシマ、真空紫外・Ｘ線
66	稲崎　聡	浜松ホトニクス㈱	ＣＯ2、エキシマ
67	浅海　勝征	長崎総合科学大学	Ｎｄ：ＹＡＧ、Ⅲ－Ⅴ族半導体
68	中島　章成	帝人㈱	希ガス、ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ
69	浜田　弘喜	三洋電機㈱	Ⅲ－Ⅴ族半導体
70	大山　俊之	理化学研究所	気体、希ガス、ＣＯ2、化学、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ
71	鈴木　誠	ブラザー工業	気体、ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ
72	斎藤　弘	岩手大学	金属、液体、色素、その他液体
73	渡部　俊久	日本放送協会　放送技術研究所	真空紫外・Ｘ線
74	小見　忠雄	㈱東芝	固体
75	山中　正宣	大阪大学	レーザー一般、気体、希ガス、ＣＯ2、化学、エキシマ、その他気体、色素、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ、波長可変固体、光パラメトリック、その他固
76	小川　禎一郎	九州大学	その他気体、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体
77	阿部　光明	住友金属鉱山㈱	固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ
78	堀口　至朗	甲南大学	レーザー一般、気体、金属、ＣＯ2、化学、エキシマ、その他気体、色素、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、真空紫外・Ｘ線
79	石井　彌	石井外科	ＣＯ2、その他気体、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
80	小泉　俊郎	㈱アマダエンジニアリングセンター	レーザー一般、気体、ＣＯ2、その他気体、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、その他半導体
81	長田　光博	東海大学	ＣＯ2、色素、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ
82	長澤　明範	東海大学	気体、希ガス、ＣＯ2、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
83	中島　康之	ＫＤＤ	気体、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体

84	柏原　茂	防衛大学校	化学、エキシマ、真空紫外・X線
85	宮崎　健創	通商産業省工業技術院　電子技術総合研究所	金属、エキシマ、色素、固体、波長可変固体、真空紫外・X線
86	芳野　文人	㈱神戸製鋼所	CO2、Nd：YAG
87	山田　諄	愛知工業大学	希ガス、エキシマ、色素、固体、その他固体、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
88	市古　修身	㈱日鉄技術情報センター	CO2、Nd：YAG
89	黒澤　富蔵	通商産業省工業技術院　計量研究所	気体、CO2、Nd：YAG、光ポンピングレーザー
90	TINSCHMANN	BAASEL LASERTECH	金属、CO2、エキシマ、その他気体、色素、Nd：YAG、半導体
91	住吉　哲実	慶応義塾大学	気体、CO2、化学
92	久保寺　憲一	NTT	希ガス、色素、固体、Nd：YAG、光パラメトリック、Ⅲ－Ⅴ族半導体
93	小島　誠治	筑波大学	希ガス、半導体
94	木村　直樹	古河電気工業㈱	CO2、エキシマ
95	田幸敏治	東京理科大学	気体、希ガス、CO2、エキシマ、色素、半導体、Ⅲ－Ⅵ族半導体
96	水本　哲也	東京工業大学	気体、色素、Nd：YAG、Ⅲ－Ⅴ族半導体
97	竹居　栄治	和歌山県立紀北工業高等学校	ガラス、自由電子
98	小林　孝嘉	東京大学	エキシマ、色素、ガラス、Nd：YAG、波長可変固体、光パラメトリック、その他の固体
99	小原　實	慶應義塾大学	気体、希ガス、CO2、化学、エキシマ、その他気体、固体、アイセーフ、波長可変固体、半導体、真空紫外
100	中根　良平	理化学研究所	CO2、その他気体
101	後藤　俊夫	名古屋大学	希ガス、金属、エキシマ、色素、Nd:YAG、その他半導体
102	関根　征士	新潟大学	気体
103	金井　英次	中部電力㈱	金属、色素
104	川上　仁志	㈱四国総合研究所	エキシマ

105	林　宏三	シャープ㈱	レーザー一般、気体、半導体
106	高見　道生	理化学研究所	レーザー一般、気体、希ガス、ＣＯ2、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、その他半導体
107	木村　博信	レーザー濃縮技術研究組合（出向）	レーザー一般、金属、エキシマ、色素、その他（ウラン濃縮用レーザーシステム）
108	松岡　正浩	東京大学	色素、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、
109	塚本　孝一	通商産業省工業技術院　電子技術総合研究所	ＣＯ2
110	大道　博行	大阪大学	気体、ＣＯ2、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、真空紫外
111	西川　幸男	松下電器産業㈱	エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ
112	渡辺　博佐	帝人㈱	エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ、真空紫外
113	幹　淳	㈱日立製作所	レーザー一般、気体、金属、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体
114	吉田　実	三菱電線工業㈱	固体、その他（レーザー増幅）
115	久野　耕司	浜松ホトニクス㈱	ＣＯ2、エキシマ
116	中島　信昭	大阪大学	希ガス、金属、エキシマ、その他気体、色素、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、光パラメトリック、真空紫外
117	上杉　文彦	ＮＥＣ	気体、希ガス、ＣＯ2、エキシマ、その他（シンクロトロン放射光）
118	小林　喬郎	福井大学	気体、ＣＯ2、エキシマ、その他気体、色素、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ、波長可変固体、光パラメトリック、半導体、真空紫外
119	瀧川　靖雄	大阪電気通信大学	気体、エキシマ、真空紫外・Ｘ線
120	長友　正平	㈱ディ・エス・スキャナー	希ガス
121	鈴木　健夫	東京電機大学	気体、希ガス、金属、ＣＯ2、色素、固体、ガラス
122	近藤　光重	三菱電機㈱	気体、半導体、Ⅲ－Ⅴ属半導体
123	蘆立　修一	東京電力㈱	化学、エキシマ
124	難波　義治	中部大学	希ガス、ＣＯ2、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
125	石月　満	泉工医科工業（株）	レーザー一般、気体、ＣＯ2、色素、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体

126	塩田　恒夫	日立電線㈱	ＣＯ2、Ⅲ－Ⅴ族半導体
127	内海　厚	三菱電線工業㈱	ＣＯ2、エキシマ、その他気体、Ｎｄ：ＹＡＧ
128	藤井　陽一	東京大学	レーザー一般
129	今崎　一夫	1．（財）レーザー技術総合研究所 2．（株）自由電子	液体、自由電子
130	品川　隆明	㈱レオ研究所	気体、半導体、その他：レーザー応用計測
131	田村　洋一	住友金属工業㈱	気体、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、半導体
132	大田　建久	同志社大学	気体、希ガス、金属、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
133	田中　恒久	前大阪電気通信大学	レーザー一般
134	横山　昌弘	近畿大学	レーザー一般、気体、ＣＯ2
135	武藤　勝彦	松下技研㈱	エキシマ、Ⅲ－Ⅴ族半導体
136	西原　浩	大阪大学	気体、ＣＯ2、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
137	仲前　一男	大阪府立大学	希ガス、エキシマ、真空紫外・Ｘ線
138	難波　進	長崎総合科学大学	ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、Ⅲ－Ⅴ属半導体、真空紫外・Ｘ線
139	堀岡　一彦	東京工業大学	気体、ＣＯ2、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ
140	前田　龍吾	大日本インキ化学工業㈱	ＣＯ2、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
141	下　紳郎	出光興産㈱	エキシマ
142	山田　廣成	立命館大学	自由電子、真空紫外・Ｘ線
143	高浜　亮	三菱電機㈱	ＣＯ2、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ
144	盛永　篤郎	東京理科大学	レーザー一般、気体、希ガス、ＣＯ2、その他気体、液体、色素、固体、半導体、Ⅲ－Ⅴ属半導体、Ⅱ－Ⅵ属半導体
145	沓名　宗春	名古屋大学	レーザー一般、ＣＯ2、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ
146	石井　彰三	東京工業大学	その他気体、真空紫外

147	水井　順一	三菱重工業㈱	エキシマ、ガラス、真空紫外、半導体、Ⅱ－Ⅵ属半導体
148	堀田　昌志	愛媛大学	レーザー一般、気体、希ガス
149	田中　裕明	㈱村田製作所	半導体
150	貴野　孝久	大阪大学	ＣＯ2、エキシマ、その他気体、ガラス、真空紫外
151	藤原　裕文	室蘭工業大学	レーザー一般、希ガス、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、その他固体
152	三木　秀二郎	立命館大学	エキシマ、Ⅲ－Ⅴ属半導体
153	糟谷　紘一	東京工業大学	気体、ＣＯ2、エキシマ、液体、固体、その他固体、真空紫外
154	宮城　勢治	阿南工業高等専門学校	気体、エキシマ、
155	中川　秀夫	松下電器産業㈱	エキシマ、自由電子
156	服部　武志	東北大学	希ガス、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体
157	本間　健二	姫路工業大学	化学、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、真空紫外
158	横尾　雅一	㈱関西新技術研究所	希ガス、金属、ＣＯ2、エキシマ、その他気体、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、
159	宮川　洽	防衛大学校	ＣＯ2、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ
160	平本　誠剛	三菱電機㈱	ＣＯ2、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ
161	岸野　克巳	上智大学	Ⅲ－Ⅴ属半導体、Ⅱ－Ⅵ属半導体
162	尾形　圭五	大阪歯科大学	レーザー一般、半導体
163	須藤　建	東北大学	その他半導体
164	竹本　修三	京都大学	気体、半導体
165	上原　昇	電機通信大学	レーザー一般、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
166	松本　有史	サンユー電子㈱、ＨＯＹＡ－コンティニアム㈱	レーザー一般、希ガス、エキシマ、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、半導体
167	御子柴　宣夫	ヒューレット・パッカード日本研究所	色素、半導体

168	柳沢　源内	エンジニアリングシステム㈱	ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ
169	青山　耕一	ＮＴＴ	ＣＯ2、光パラメトリック、半導体
170	林　健一	金沢大学	ガラス、半導体、Ⅲ－Ⅴ属半導体、Ⅱ－Ⅵ属半導体、光ファイバーレーザー
171	宮下　豊勝	龍谷大学	レーザー一般、希ガス、色素
172	高橋　良夫	ライテック㈱	ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ、その他固体
173	松下　辰彦	大阪産業大学	
174	島内　みどり	（財）応用光学研究所、電気通信大学レーザー極限技術セン	エキシマ
175	松原　健夫	㈱自由電子レーザー研究所	半導体、Ⅲ－Ⅴ属半導体、自由電子
176	中村　幸生	昭和大学歯学部	ＣＯ2、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ
177	林　理三雄	鹿児島大学	ＣＯ2、色素
178	桑原　秀夫	㈱富士通研究所	ＣＯ2、その他気体、色素、Ⅲ－Ⅴ属半導体、その他半導体
179	佐々木　孝友	大阪大学	色素、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ、波長可変固体、光パラメトリック、半導体
180	松田　桂一	三菱重工業㈱	ＣＯ2、色素、波長可変
181	浅香　修治	岡崎国立共同研究機構	希ガス、金属、エキシマ、その他気体、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体
182	初田　洋司雄	ＮＥＣ	気体、液体、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ、波長可変固体、光パラメトリック
183	松田　賢一	松下電器産業㈱	Ⅲ－Ⅴ属半導体
184	堀口　常雄	ＮＴＴアクセス網研究所	希ガス、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ、波長可変固体、その他の固体、半導体、Ⅲ－Ⅴ属半導体
185	向山　芳世	山梨県工業技術センター	ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ
186	神川　喜代男	厚生会第一病院	希ガス、ＣＯ2、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
187	菊池　清	セン特殊光源（株）	気体、光ポンピング用ルビジウムランプ＆ガスセル
188	臼井　敏男	岐阜工業高等専門学校	ＣＯ2、その他気体

189	加藤一一	芝浦工業大学	気体、ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
190	内山　太	通商産業省工業技術院　電子技術総合研究所	ＣＯ2
191	佐藤　俊一	（財）産業創造研究所	気体、ＣＯ2
192	平松　美根男	名城大学	ＣＯ2、エキシマ、色素
193	坪井　昭彦	㈱レーザックス	ＣＯ2、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ
194	藤岡　加奈	レーザ技術振興会	Ｎｄ：ＹＡＧ
195	安尾　勲	㈱メイセイ	
196	松本　正行	大阪大学	光パラメトリック、半導体
197	菊池　一雄	防衛大学校	ＣＯ2
198	乗松　孝好	大阪大学	
199	熱田　稔雄	川崎重工業㈱	ＣＯ2、化学、エキシマ，Ｎｄ：ＹＡＧ
200	和田　一洋	京都大学	ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
201	立石　文和	松下電器産業㈱	気体、ＣＯ2
202	藤澤　彰	シャープ㈱	気体、ＣＯ2、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、光パラメトリック
203	藤田　秀夫	㈱東芝生産技術研究所	レーザー一般、気体、希ガス、金属、ＣＯ2、その他気体
204	泉谷　徹郎	三井松島産業㈱	固体、ガラス、アイセーフ、波長可変固体
205	西田　直人	㈱東芝	気体、ＣＯ2、エキシマ
206	鈴木　正弘	㈱アマダエンジニアリングセンター	気体、ＣＯ2
207	三浦　賀一	ミウラセンサー研究所	Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
208	長瀬　亮	ＮＴＴ光エレクトロニクス研究所	半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
209	石井　恂	金沢工業大学	Ⅲ－Ⅴ族半導体

210	三浦　宏	（財）近畿高エネルギー加工技術研究所	固体
211	武藤　真三	山梨大学	気体、金属、ＣＯ2、エキシマ、色素、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
212	黒田　寛人	東京大学	レーザー、色素、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧレーザー、波長可変固体、光パラメトリック、その他固体、Ⅱ－Ⅵ族半導体、真空紫外・Ｘ線
213	平等　拓範	福井大学	エキシマ、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ、波長可変固体、光パラメトリック
214	勝山　豊	ＮＴＴアクセス網研究所	気体、希ガス、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
215	土屋　荘次	日本女子大学	ＣＯ2、化学、真空紫外・Ｘ線
216	大脇　成裕	大阪府立大学	レーザー一般、Ｎｄ：ＹＡＧ、真空紫外・Ｘ線
217	石川　君雄	㈱豊田自動織機製作所	気体、ＣＯ2
218	萩本　和男	ＮＴＴ	半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
219	志水　裕一	川崎重工業㈱	ＣＯ2、その他気体、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体、ファイバーレーザー
220	横田　英嗣	東海大学	気体、ＣＯ2、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、Ⅲ－Ⅴ族半導体
221	外園　博一	防衛庁	ＣＯ2、化学、エキシマ、Ⅱ－Ⅵ族半導体
222	富江　敏尚	通商産業省工業技術院　電子技術総合研究所	エキシマ、色素、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、真空紫外・Ｘ線
223	岡田　龍雄	九州大学	気体、ＣＯ2、エキシマ、色素、固体、波長可変固体、真空紫外・Ｘ線
224	安岡　康一	㈱東芝重電技術研究所	ＣＯ2、エキシマ
225	加藤　治文	東京医科大学	気体、金属、ＣＯ2、エキシマ、色素、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、光パラメトリック、半導体
226	福田　光男	ＮＴＴ光エレクトロニクス研究所	半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体レーザー、その他半導体
227	杉岡　幸次	理化学研究所	レーザー、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ、真空紫外・Ｘ線
228	森尾　登	大阪大学	ガラスレーザー、Ｎｄ：ＹＡＧ
229	長澤　親生	東京都立大学	色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
230	家久　信明	ＦＡＮＵＣ㈱	ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ

231	古河　裕之	レーザー技術総合研究所	自由
232	宇野　義幸	岡山大学	Ｎｄ：ＹＡＧ
233	藤岡　知夫	東海大学	レーザー一般、気体、ＣＯ2、化学、エキシマ、その他気体
234	鈴木　和雄	シグマ光機㈱	気体、希、ＣＯ2、エキシマ、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体
235	田中　紘幸	三菱電線工業㈱	波長可変固体、光パラメトリック、光ファイバレーザー、導波路型レーザー
236	橋田　昌樹	大阪大学	ＣＯ2、エキシマ、色素
237	松本　講二	ＮＥＣ	半導体
238	伊澤　達夫	ＮＴＴ研究開発本部	気体、希ガス、ＣＯ2　、色素、固体、ガラス、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
239	秋山　靖裕	㈱東芝　生産技術研究所	レーザー一般、気体、ＣＯ2 、エキシマ、その他気体、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、真空紫外・Ｘ線
240	窪寺　昌一	宮崎大学	希ガス、ＣＯ2　、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、真空紫外・Ｘ線
241	三間　圀興	大阪大学レーザー核融合研究センター	自由電子
242	島田　雅良	株式会社東芝　府中工場	気体
243	池田　憲昭	大阪大学	希ガス、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ
244	杉本　伸夫	環境庁国立環境研究所	ＣＯ2　、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、光パラメトリック
245	山川　正志	三菱電機・伊丹製作所	希ガス、ＣＯ2　、色素
246	酒井　広文	通商産業省工業技術院　電子技術総合研究所	エキシマ、色素，Ｎｄ：ＹＡＧ、真空紫外・Ｘ線
247	前田　三男	九州大学	エキシマ、色素、波長可変固体
248	飯田　幸雄	関西大学	半導体
249	林　康明	京都工芸繊維大学	気体、希ガス、Ⅲ－Ⅴ族半導体
250	甲藤　正人	近畿大学理工学部	エキシマ、真空紫外・Ｘ線
251	古川　真一	ＮＴＴ日本電信電話株式会社　ＮＴＴアクセス網研究所	波長可変固体、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体

252	佐々木　亘	宮崎大学	気体、希ガス、金属、エキシマ、色素、真空紫外・Ｘ線
253	加藤　義章	大阪大学	希ガス、エキシマ、色素、ガラス、その他固体、真空紫外・Ｘ線
254	中野　義昭	東京大学	半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
255	今井　正明	室蘭工業大学	レーザー一般、気体、希ガス、ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、半導体
256	中川　清司	ＮＴＴ	レーザー一般、希ガス、アイセーフ、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
257	森田　正信	関西大学	半導体、自由電子
258	吉田　多見男	株式会社島津製作所	気体、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ、Ⅲ－Ⅴ族半導体
259	唐木　幸一	オリンパス光学工業㈱	ＣＯ2　、エキシマ
260	浜田　直也	新日本製鐵㈱	ＣＯ2　、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体
261	杉田　雄二	中部電力株式会社	Ｎｄ：ＹＡＧ
262	松本　裕治	通産省工業技術院電総研	気体、ＣＯ2　、エキシマ
263	村上　幸毅	日本赤外線工業株式会社	レーザー一般、気体、ＣＯ2、エキシマ、液体、色素、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ、半導体、真空紫外・Ｘ線
264	丹生　慶四郎	帝京技術科学大学	Ｎｄ：ＹＡＧ、自由電子
265	田畑　則一	三菱電機株式会社	金属、ＣＯ2、エキシマ
266	大坪　順次	静岡大学	気体、希ガス、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
267	西脇　彰	中部大学（学校法人三浦学園）	気体、希ガス、金属、ＣＯ2
268	西脇　彰	中部大学（学校法人三浦学園）	気体、希ガス、金属、ＣＯ2
269	羽根　一博	東北大学	希ガス、金属、半導体
270	岡田　昌義	神戸大学	レーザー一般、気体、ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
271	赤塚　洋	東京工業大学	希ガス、遠赤外（メタノール）
272	青島　紳一郎	浜松ホトニクス（株）	レーザー一般、気体、希ガス、金属、その他気体、色素、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、半導体

273	沼居　貴陽	北海道大学	気体、色素、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体
274	平戸　昌利	日本アイ・ビー・エム（株）	レーザー一般、半導体
275	米澤　卓実	大阪医科大学整形外科学教室	気体、エキシマ、Ｎｄ：ＹＧＡ、半導体
276	米澤　卓実	大阪医科大学整形外科学教室	気体、エキシマ、Ｎｄ：ＹＧＡ、半導体
277	上田　正紘	福井大学	希ガス、ＣＯ2、エキシマ、固体、Ｎｄ：ＹＧＡ、半導体
278	依田　潤	通商産業省工業技術院計量研究所	色素、半導体
279	田井　秀男	東京ガス（株）	希ガス、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
280	上林　利生	長岡技術科学大学	半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体
281	濱　邦雄	日本測器（株）	
282	京兼　純	奈良工業高等専門学校	気体、エキシマ、色素、固体
283	神保　孝志	名古屋工業大学	ＣＯ2、ガラス、Ⅲ－Ⅴ族半導体
284	竹下　充浩	中国電力（株）	Ｎｄ：ＹＡＧ
285	樋田　孝司	大阪大学	色素、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、光パラメトリック、Ⅲ－Ⅴ族半導体
286	佐々木　勉	ﾃﾞｭﾎﾟﾝ株式会社	気体、ＣＯ2、エキシマ、色素、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
287	中島　貞夫	山村硝子株式会社	ＣＯ2、エキシマ、色素
288	椿原　啓	近畿大学	気体、金属、ＣＯ2、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ
289	渡部　武弘	千葉大学	その他気体、Ｎｄ：ＹＡＧ
290	大城　俊夫	日本医用レーザー研究所	レーザー一般、気体、希ガス、金属、ＣＯ2、その他気体、液体、色素、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、その他の固体、半導体
291	黒澤　宏	宮崎大学	気体、エキシマ、真空紫外・Ｘ線
292	北村　道雄	旭硝子株式会社	Ｎｄ：ＹＡＧ
293	矢部　明	通産省工業技術院物質工学工業技術研究所	エキシマ、その他気体

294	岩田　耕一	大阪府立大学	
295	森本　朗裕	大阪大学	レーザー一般、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、半導体
296	山下　一郎	三菱重工業（株）	ＣＯ2、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ
297	坂本　幸弘	千葉工業大学	気体、エキシマ、真空紫外・Ｘ線
298	松井　敏明	郵政省通信総合研究所	気体、ＣＯ2、その他気体、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、Ⅲ－Ｖ族半導体
299	斉藤　保典	信州大学	エキシマ、その他気体、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ
300	志村　努	東京大学	希ガス、金属、ＣＯ2、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、半導体、Ⅲ－Ｖ族半導体
301	広瀬　全孝	広島大学工学部	
302	荒木　智宏	宇宙開発事業団	レーザー一般、希ガス、ＣＯ2、化学、半導体、光ファイバアンプ
303	河井　孝文	（株）三菱電機	ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ
304	和仁　郁雄	川崎重工業株式会社	ＣＯ2、化学
305	土屋　裕	浜松ホトニクス（株）	固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、光パラメトリック、半導体、Ⅲ－Ｖ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体
306	黒木　太司	東北大学	固体、半導体
307	中原　恒雄	住友電気工業（株）	ＣＯ2、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体、Ⅲ－Ｖ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体、自由電子
308	神成　文彦	慶應義塾大学	気体、化学、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、その他の固体、真空紫外、Ｘ線
309	中沢　正治	東京大学	気体、Ｎｄ：ＹＡＧ
310	松本　二郎	日本軽金属株式会社、（株）テクノス日軽	ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ
311	松本　孝夫	滋賀大学	希ガス、色素、固体、Ⅲ－Ｖ族半導体
312	吉川　三弥	（株）東芝研究開発センター	固体
313	清水　忠雄	東京理科大学	気体、希ガス、ＣＯ2、エキシマ、色素、固体
314	竹内　延夫	千葉大学	レーザー、気体、ＣＯ2、液体、色素、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、半導体、Ⅲ－Ｖ族半導体

315	岩本　雅民	三菱電機	
316	立野　公男	日立製作所中央研究所	希ガス、固体、波長可変固体、その他の固体、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
317	坂井　辰彦	新日本製鐵（株）	ＣＯ２、エキシマ
318	杉本　賢司	大成建設（株）技術研究所	ＣＯ２、Ｎｄ：ＹＡＧ
319	内山　誠二	古河電気工業株式会社	半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
320	高橋　勉	帝人製機（株）	希ガス、エキシマ
321	今井　元	（株）富士通研究所	気体、希ガス、固体、その他の固体、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
322	石井　彰	（株）東芝浜川崎工場	ＣＯ２、エキシマ
323	寺井　清寿	（株）東芝	レーザー一般、気体、ＣＯ２、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
324	藤本　良三	日本文理大学	気体、ＣＯ２、化学、エキシマ
325	山越　英男	三菱重工業（株）	ＣＯ２、エキシマ、真空紫外・Ｘ線
326	丸山　庸一郎	日本原子力研究所	金属、エキシマ、色素、波長可変固体
327	増田　千尋	芝浦工業大学	気体、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
328	岩崎　賢二	株式会社　ユニテック	気体、固体、波長可変固体、その他の固体
329	柏木　寛	トッパングループ総研	気体、希ガス、ＣＯ２、エキシマ、その他気体、色素、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ
330	種田　悌一	自由業：画質評価コンサルタント	気体、希ガス、金属
331	植杉　雄二	松下電器産業（株）、生産技術研究所	ＣＯ２、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ
332	山田　実	金沢大学	半導体、Ⅲ－Ⅴ属半導体
333	小林　功	富山日本電気（株）	レーザー一般、気体、希ガス、金属、ＣＯ２、その他の固体、半導体
334	吉原　經太郎	岡崎国立共同研究機構分子科学研究所	レーザー一般、気体、希ガス、金属、エキシマ、液体、色素、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、光パラメトリック
335	中津　弘志	シャープ株式会社	Ⅲ－Ⅴ族半導体

336	渡辺　泉	近畿大学	希ガス、ＣＯ2、エキシマ、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ
337	内山　太郎	慶応義塾大学	気体、ＣＯ2、化学、半導体
338	足立　智	姫路工業大学	気体、金属、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体
339	田原　健	（有）関東電子応用開発	エキシマ
340	武久　究	（株）日立製作所日立研究所	気体、化学、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体レーザー
341	小川　徹	なし	気体、希ガス、色素、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
342	米田　仁紀	電気通信大学	気体、エキシマ、その他気体、色素
343	小谷　晴夫	西本産業株式会社	ＣＯ2、半導体
344	伊藤　寛	香川大学	気体、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、光パラメトリック、半導体、その他：ＳＲをレーザーの代わりに
345	今岡　淳	ＮＴＴ光ネットワークシステム研究所	希ガス、色素、Ⅲ－Ⅴ族半導体
346	尾島　正啓	日立製作所　中央研究所	その他気体、色素、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、光パラメトリック、Ⅲ－Ⅴ族半導体
347	花谷　昌一	日立製作所　中央研究所	半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
348	藤森　秀之	ミノルタＫ．Ｋ．	ＣＯ2、、半導体
349	森澤　正明	三菱電線工業（株）	その他：ファイバーレーザー
350	井筒　雅之	大阪大学	気体、ＣＯ2、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体
351	安東　泰博	日本電信電話株式会社	気体、希ガス、ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体、
352	中野　博行	（株）日立製作所光技術開発推進本部	半導体
353	大上　浩	武蔵工業大学	ＣＯ2、化学、色素
354	高橋　邦充	（財）産業創造研究所	ＣＯ2
355	藤井　洋二	日本電信電話株式会社（ＮＴＴ）	Ⅲ－Ⅴ族半導体
356	大内　博文	日立電線（株）	ＣＯ2、その他気体、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体

357	宮永　滋己	室蘭工業大学	気体、希ガス、半導体
358	西村　幸雄	九州大学	気体、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、光パラメトリック
359	藤間　正博	（株）日立製作所エネルギー研究所	レーザー一般、金属、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ
360	里村　裕	大阪工業大学	気体、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
361	十文字　正憲	八戸工業大学	色素、波長可変固体
362	永井　達二	キャノン販売（株）営研事業部	固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、真空紫外・Ｘ線
363	島田　允	詫間電波工業高等専門学校	レーザー一般、気体、半導体
364	佐野　嘉彦	旭硝子株式会社	エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体、真空紫外・Ｘ線
365	柊元　宏	東京工業大学	エキシマ、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体
366	ウィグナラージャ　シバクマラシ	大成建設㈱	ＣＯ２　、Ｎｄ：ＹＡＧ
367	英　貢	豊橋市技術科学大学	希ガス、ＣＯ２、エキシマ、色素、ＮＤｄ：ＹＡＧ、半導体、放射光
368	知念　幸勇	（株）東芝	半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
369	宮本　泰明	動力炉・核燃料開発事業団	ＣＯ２、その他気体、Ｎｄ：ＹＡＧ
370	岡本　尚道	静岡大学	その他気体、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、Ⅲ－Ⅴ族半導体
371	小越　澄雄	東京理科大学	希ガス、金属、ＣＯ２、エキシマ、ガラス、波長可変個体
372	渡辺　一弘	創価大学	レーザー一般、気体、ＣＯ２、化学

レーザー研究機関　データ　リスト

（1）企業

（2）国公立等研究機関

（3）大学

	1．機関名	部署名	4．対象ﾚｰｻﾞｰ種別(従来)
1	㈱アドバンテスト	ＡＴＥ第３事業部	Ｎｄ：ＹＡＧレーザー
2	アルプス電気㈱	システム機器事業部	希ガス、ＣＯ2、Ⅲ－Ⅴ族半導体
3	安藤電気㈱	計測機器（事）第一技術部	Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
4	飯田工業（株）	特販部開発課	ＣＯ2
5	石川島播磨重工業（株）	メカトロ総合開発センター高エネルギー技術部	ＣＯ2、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ、波長可変固体、光パラメトリック
6	（株）いすゞ中央研究所	企画調整部	希ガス、金属、ＣＯ2、半導体
7	ウシオ電機㈱	技術研究所	気体、金属
8	ＮＥＣ関西	製造管理部ＦＡグループ	Ｎｄ：ＹＡＧ
9	ＮＥＣ栃木	技術部	
10	ＮＴＴ	境界領域研究所	希ガス、ＣＯ2、エキシマ、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体
11	ＮＴＴアクセス網研究所	光加入者ケーブルシステム研究部、光通信線路研究部	レーザー一般、希ガス、金属、ＣＯ2、色素、固体、ガラス，Ｎｄ：ＹＡＤ、アイセーフ、波長可変固体、光パラメトリック、その他の固体、
12	㈱オーク製作所	技術部	レーザー一般、エキシマ
13	大阪ガス㈱	新技術研究所	エキシマ
14	オムロン㈱	インダストリアル事業グループ生産技術センター工法技術課	Ｎｄ：ＹＡＧ
15	オリンパス光学	基礎研究部　量子エレクトロニクス研究室	ＣＯ2、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ
16	川崎製鉄㈱	鉄鋼開発・生産本部　技術研究所	ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧレーザー
17	キャノン㈱	生産技術センターＦＡ技術開発部	気体、希ガス，金属、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、その他の固体、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
18	キャノン㈱	周辺機器22商品企画課	
19	㈱クボタ	基盤技術研究所オプトメカトロ研究室	波長可変固体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
20	㈱栗田製作所	技術部	金属、ＣＯ2、固体、ガラス、自由電子

21	黒崎窯業（株）	技術研究所	固体レーザー、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ、波長可変固体、その他の固体
22	グンゼ（株）	滋賀研究所	レーザー一般、気体
23	神戸海星病院	耳鼻咽喉科	気体、ＣＯ2、色素、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
24	㈱神戸製鋼所	機械研究所	ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ
25	㈱小松製作所	研究本部中央研究所	ＣＯ2、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体
26	サイマー・ジャパン㈱		エキシマ
27	サカタインクス㈱	印刷製版技術研究所	気体、半導体
28	サンテック㈱	研究企画部	半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体、その他半導体
29	三洋電機㈱	マイクロエレクトロニクス研究所光エレクトロニクス研究部	Ⅲ－Ⅴ族半導体
30	ジェネシステクノロジー㈱	レオ事業本部	レーザー一般、気体、希ガス、ＣＯ2、液体、固体，Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
31	㈱四国総合研究所	電子技術研究所	レーザー一般、気体、希ガス、金属、ＣＯ2、エキシマ、その他気体、色素、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ
32	渋谷工業㈱	メカトロ生産本部技術部　開発課	気体、ＣＯ2、エキシマ
33	㈱島津製作所	けいはんな研究所	希ガス、ＣＯ2、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ、Ⅲ－Ⅴ族半導体
34	シャープ㈱	技術本部　中央研究所第一研究部	半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体
35	シャープ㈱	オプトデバイス事業部企画部	Ⅲ－Ⅴ族半導体
36	信越化学工業（株）	精密機能材料研究所開発室	固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、Ⅲ－Ⅴ族半導体
37	信越石英㈱	石英技術研究所	気体、Ｎｄ：ＹＡＧ
38	新日本製鐵㈱	名古屋製鐵所生産技術部　設備・開発調整室	ＣＯ2、半導体
39	新日本製鐵㈱	エレクトロニクス研究所計測・制御研究部	レーザー一般、ＣＯ2、エキシマ、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、その他の固体、半導体
40	住友大阪セメント㈱	新規技術研究所　オプトエレクトロニクス研究部	レーザー一般、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、半導体
41	住友重機械工業株式会社	技術本部	エキシマ、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、光パラメトリック、その他の固体（半導体励起）

42	住友電気工業㈱	大阪研究所	Ｎｄ：ＹＡＧ、その他固体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体
43	星和電気㈱	研究開発部　研究グループ	レーザー一般
44	㈱ソキア	技術本部第２開発部	気体
45	測英舎㈱	開発部、技術課	気体、希ガス、ＣＯ2、エキシマ、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体、真空紫外・Ｘ線
46	ソシオダイヤシステムズ㈱	メカトロ制御部	半導体
47	ソニー稲沢㈱	技術部生産技術課	Ｎｄ：ＹＡＧ
48	大研医器㈱	商品開発研究所　光学研究室	気体、半導体
49	大成建設㈱	技術研究所材料研究グループ	ＣＯ2
50	タカラベルモント㈱	開発企画室	ＣＯ2（歯科用）100、Ｈｅ－Ｎｅレーザー（歯科用）1150
51	竹中オプトニック㈱	販売促進課	レーザー一般、半導体、その他の半導体
52	㈱筑豊製作所	産機部レーザ係	ＣＯ2
53	チッソ㈱	新事業開発室レーザー販売グループ	Ｎｄ：ＹＡＧ
54	中国電力㈱	技術研究センター電気担当	Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
55	㈱椿本チェイン	研究開発部　先端加工技術センター	ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ
56	帝人製機㈱	ソリッドイメージ部	気体、その他気体、Ｎｄ：ＹＡＧ
57	テルモ㈱	研究開発センター	レーザー一般、気体、希ガス、エキシマ、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ、波長可変固体、光パラメトリック、半導体
58	東亜医用電子㈱	技術開発部	気体、半導体
59	東京ガス㈱	インフォメーションテクノロジー研究所光計測４４	希ガス、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、Ⅲ－Ⅴ
60	東京航空計器㈱	開発部	気体，Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
61	㈱東芝	浜川崎工場新技術応用機器担当　レーザ装置担当	ＣＯ2、エキシマ
62	㈱東芝	富士工場技術管理担当	ＣＯ2，Ｎｄ：ＹＡＧ

63	㈱東芝	重電技術研究所材料加工技術開発担当	ＣＯ2、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ
64	㈱東芝	生産技術研究所レーザ研究部	希ガス、金属、ＣＯ2、エキシマ、その他の気体、色素、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧレーザー、アイセーフ、波長可変固体、光パラメトリック、
65	㈱東芝	重電技術研究所　放電応用技術担当	レーザー一般、気体、希ガス、ＣＯ2、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ
66	東芝機械㈱	中央研究所	希ガス、ＣＯ2、半導体
67	東レ㈱	電子情報材料研究所	レーザー一般、希ガス、エキシマ、色素、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、その他の固体、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
68	㈱トキメック	研究開発センタージャイロ精機部	気体、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
69	トピー工業㈱	技術研究所第一研究部	ＣＯ2
70	㈱トプコン	医科機械技術部　技術グループ	レーザー一般、気体、エキシマ、その他気体、色素、固体，Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
71	㈱巴川製紙所	技術研究所	気体、半導体
72	長澤臨床レーザー医用生体工学研究所	長澤クリニック	ＣＯ2　、エキシマ、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ
73	㈱ニコン	精機事業部精機第二設計部	気体、希ガス、金属、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ、Ⅲ－Ⅴ族半導体
74	㈱ニコン	開発本部　筑波研究所　オプトエレクトロニクスグループ	気体、希ガス、金属、エキシマ、色素、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、Ⅲ－Ⅴ属半導体
75	㈱ニコン	精機第１設計部	エキシマ、固体
76	日亜化学工業㈱	開発部	半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
77	ニチコン㈱	草津工場特機部	希ガス、金属、ＣＯ2、エキシマ、固体、ガラス，Ｎｄ：ＹＡＧ、自由電子
78	㈱日軽技研	製品化技術研究室	ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ
79	日産自動車㈱	総合研究所	ＣＯ2、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ、
80	日新電機㈱	電力・システム研究開発部高電圧技術グループ	ＣＯ2、エキシマ、自由電子
81	㈱ニデック	Ｘグループ	希ガス、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
82	日本ウェルディング㈱	レーザー事業部	ＣＯ2、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
83	日本ガイシ㈱	電力事業本部　電力技術研究所	希ガス、ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ、その他半導体

84	㈱日本感光色素研究所	開発推進部	色素
85	日本金属工業㈱	研究開発本部研究部	固体、半導体
86	㈱日本コンタクトレンズ	開発グループ	エキシマ
87	日本スピードショア㈱	技術開発室	レーザー一般、半導体
88	日本ゼオン㈱	総合開発センター	レーザー一般
89	日本ゼオン㈱	医療器材事業部企画管理部ＭＥ開発グループ	
90	日本赤外線工業㈱	研究開発部	レーザー一般、気体、金属、ＣＯ2、エキシマ、その他気体、液体委、色素、固体，Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ、波長可変固体、その他の固
91	日本電気㈱	光エレクトロニクス研究所	エキシマ、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体
92	日本電気㈱	無線事業本部誘導光電事業部レーザー技術部	金属、ＣＯ2、化学、色素、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ、波長可変固体、光パラメトリック
93	日本電気㈱	レーザ・メカトロ事業部	エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ
94	日本電池㈱	照明事業部ＵＶ推進部開発課	エキシマ
95	日本レーザ電子㈱	研究開発部	気体、希ガス、金属、エキシマ、半導体
96	ノスクマード国際特許事務所	特許・意匠室 第１グループ	気体、エキシマ
97	浜松ホトニクス㈱	電子管第２事業部	ＣＯ2 、エキシマ、色素
98	日立化成工業㈱	筑波開発研究所実装センター	エキシマ
99	日立建機㈱	技術研究所	Ｎｄ：ＹＡＧ
100	㈱日立製作所	中央研究所オプトエレクトロニクス研究センター	Ⅲ－Ⅴ族半導体
101	㈱日立製作所	日立工場原子力開発部濃縮機設計課	気体、金属、エキシマ、色素
102	福井松下電器㈱	固定抵抗器工場生産技術一課	Ｎｄ：ＹＡＧ
103	フクダ電子㈱	Ｒ＆Ｄ本部　新分野開発室	ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ
104	㈱フジクラ	先端研光デバイス研究室	気体、希ガス、固体、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体

105	㈱富士通研究所	企画調査室	半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体
106	富士通テン㈱	モートロニクス本部開発部第三開発課	半導体
107	ブラザー工業㈱	品質技術センター	ＣＯ2、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
108	㈱堀場製作所	生産本部	気体、希ガス、ＣＯ2、色素、半導体
109	㈱本田技術研究所	栃木研究所第22研究ブロック	半導体
110	㈱町田製作所	第二技術部　特機技術課	
111	松下産業機器㈱	産業機器研究所	ＣＯ2
112	松下電器産業㈱	半導体研究センター　化合物第一開発グループ	エキシマ、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体、ファイバーレーザー
113	松下電器産業㈱	ディスクシステム部	気体、希ガス、Ⅲ－Ⅴ族半導体
114	松下電工㈱	生産技術研究所	ＣＯ2、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧレーザー、半導体
115	松下電子工業㈱	電子総合研究所第一研究部	Ｎｄ：ＹＡＧ、Ⅲ－Ⅴ族半導体
116	松下電子部品㈱	セラミック事業部技術部	気体、ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧレーザー、Ⅲ－Ⅴ族半導体
117	ミカサ商事㈱	システム販売部　ＦＡ販売課	レーザー一般、気体、ＣＯ2、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
118	三井造船㈱	技術本部　千葉研究所	レーザー一般、気体、ＣＯ2、エキシマ
119	三井東圧化学㈱	総合研究所技術研究所　融合技術研究部	希ガス、ＣＯ2、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
120	三菱重工業㈱	原子力事業本部　原子力技術センター新技術開発部	レーザー一般、ＣＯ2、エキシマ、固体、ガラス、自由電子、真空紫外・Ｘ線
121	三菱電機㈱	光・マイクロ波デバイス研究所光デバイス開発部	Ⅲ－Ⅴ族半導体
122	三菱電気㈱	名古屋製作所メカトロ技術部　レーザ加工機設計課	ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ
123	三菱電機㈱	映像システム開発研究所開発四部第2Ｇ	気体、半導体
124	三菱電機㈱	材料デバイス研究所記録デバイス開発部	希ガス、Ⅲ－Ⅴ族半導体
125	三菱電線工業㈱	伊丹製作所光電子工場　光電子技術課	Ｎｄ：ＹＡＧ

126	三菱マテリアル㈱	中央研究所機能材料研究部	ＣＯ2、エキシマ
127	村田ボーリング技研㈱	技術開発	ＣＯ2
128	㈱モリタ製作所	技術開発部　レーザー開発グループ	エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ、半導体
129	山本光学㈱	技術開発部	希ガス、ＣＯ2，Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
130	ユニオンツール㈱	技術部開発課	気体、半導体
131	横河電気㈱	オプトエレクトロニクス研究所	半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
132	横浜ゴム㈱	タイヤ生産技術開発部	気体、半導体
133	理研計器㈱	研究部	気体
134	㈱レーザー応用工学センター		ＣＯ2、化学、エキシマ、色素、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体
135	㈱レーザックス	本社工場	ＣＯ2、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ

	1．機関名	部署名	4．対象ﾚｰｻﾞｰ種別(従来)
1	文部省宇宙科学研究所	惑星研究系超高層大気物理学部門	気体、（半導体励起）Ｎｄ：ＹＡＧレーザー
2	ＮＨＫ放送技術研究所	先端素子研究部	ＣＯ2、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧレーザー、Ⅲ－Ⅴ族半導体
3	大阪工業技術研究所	光機能材料部	気体、希ガス、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体
4	大阪府立成人病センター	第３内科	色素
5	大阪府立成人病センター	眼科	レーザー一般、色素
6	大阪府立成人病センター	第２外科（胸部外科）	Ｎｄ：ＹＡＧ
7	岡崎国立共同研究機構	分子科学研究所装置開発室	希ガス、金属、エキシマ、その他の気体、色素、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、光パラメトリック、その他の固体、半導体、自由
8	文部省核融合科学研究所	大型ヘリカル研究部計測研究系	その他の気体
9	文部省核融合科学研究所	大型ヘリカル研究部	Ｎｄ：ＹＡＧ
10	京都市工業試験場	機械金属部金属材料研究室	ＣＯ2、エキシマ
11	科学技術庁金属材料技術研究所	反応制御研究部	希ガス、エキシマ、その他気体、色素、その他固体
12	通商産業省工業技術院計量研究所	量子部光学計測研究室	気体、希ガス、金属、ＣＯ2、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
13	環境庁国立環境研究所	大気圏環境部高層大気研究室	ＣＯ2、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、アイセーフ、光パラメトリック
14	（財）産業創造研究所	レーザー研究センター	金属、ＣＯ2、化学、エキシマ、色素、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、光パラメトリック、真空紫外・Ｘ線
15	郵政省　通信総合研究所	宇宙技術研究所	気体、ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧレーザー、半導体
16	通商産業省工業技術院電子技術総合研究所	エネルギー部高温エネルギー研究室	希ガス、色素
17	通商産業省工業技術院電子技術総合研究所	極限技術部高密度エネルギー研究室	レーザー一般、ＣＯ2、エキシマ、その他気体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、真空紫外・Ｘ線
18	通商産業省工業技術院電子技術総合研究所	材料科学部　光材料研	希ガス、色素、Ｎｄ：ＹＡＧレーザー、波長可変固体、光パラメトリック
19	通産省工業技術院名古屋工業技術研究所	構造プロセス部、セラミックス基礎部	ＣＯ2、Ｎｄ：ＹＡＧ
20	奈良県工業技術センター	生産技術担当	レーザー一般、ＣＯ2

21	日本医用レーザー研究所		レーザー一般、気体、希ガス、金属、CO2、その他気体、液体、色素、固体、ガラス、Nd：YAG、その他の固体、半導体
22	日本原子力研究所	東海研究所燃料研究部同位体分離研	レーザー一般、気体、希ガス、金属、CO2、エキシマ、色素、固体、Nd：YAG、波長可変固体、半導体
23	日本原子力研究所	燃料研究部　同位対分離研究室	希ガス、金属、エキシマ、色素、Nd：YAG、波長可変固体、半導体
24	日本原子力研究所	燃料研究部同位体分離研究室	希ガス、金属、CO2、エキシマ、色素、Nd：YAGレーザー、波長可変固体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
25	日本原子力研究所	大阪支所	CO2、エキシマ
26	通商産業省工業技術院物質工学工業技術研究所	極限反応部レーザー反応研究室	エキシマ、色素
27	防衛庁第３研究所	第３部誘導第３研究室	半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体、その他の半導体
28	科学技術庁無機材質研究所	先端機能性材料研究センター	希ガス、エキシマ、その他気体、色素
29	科学技術庁無機材質研究所	第７研究グループ	気体、エキシマ、色素、Nd：YAG
30	科学技術庁無機材質研究所	HPS	気体、CO2、Nd：YAG
31	理化学研究所	光工学研究室	気体、Nd：YAG、半導体
32	理化学研究所	分離工学研究室	CO2、エキシマ、その他気体，Nd：YAG、光パラメトリック、半導体
33	理化学研究所	レーザー科学研究グループ	CO2、エキシマ、色素、固体、Nd：YAG、波長可変固体、自由電子、真空紫外X線
34	理化学研究所	レーザー科学研究グループ	CO2、エキシマ、Nd：YAG、自由電子
35	理化学研究所	レーザー科学研究グループ	レーザー一般、気体、希ガス、CO2、化学、エキシマ、その他気体、色素、ガラス，Nd：YAG、波長可変固体、半導体、自由電子、真空
36	（財）レーザー技術総合研究所	第４研究部	Nd：YAG、自由電子

	1．機関名	部署名	4．対象ﾚｰｻﾞｰ種別(従来)
1	愛知技術短期大学		ＣＯ2、Ⅲ－Ⅴ族半導体
2	足利工業大学	工学部電気工学科	Ｎｄ：ＹＡＧレーザー、Ⅲ－Ⅴ族半導体
3	芦屋大学	産業教育学科	気体、ＣＯ2、半導体
4	国立阿南工業高等専門学校	電気工学科	ＣＯ2、エキシマ、色素、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ
5	国立阿南工業高等専門学校	制御情報工学科	気体、希ガス、エキシマ
6	宇都宮大学	工学部応用化学科材料化学講座白樫研究室	レーザー一般、気体、希ガス
7	大阪市立大学	医学部付属病院中央手術部	レーザー一般、気体、希ガス、ＣＯ2、色素、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ
8	大阪大学	産業科学研究所	レーザー一般、気体、希ガス、エキシマ、色素、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体、自由電子、真空紫外・Ｘ線
9	大阪大学	基礎工学部	レーザー一般、気体、希ガス，ＣＯ2、エキシマ、その他気体、色素、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、その他の固体、半導
10	大阪大学	レーザー核融合研究センター核融合ドライバー制御工学部門	気体、固体、ガラス、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体
11	大阪大学	理学部物理教室大山グループ	気体、金属、ＣＯ2、エキシマ、色素、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
12	大阪電気通信大学	通信通信工学部	気体、ＣＯ2　、Ｎｄ：ＹＡＧ
13	大阪電気通信大学	電子工学科	気体、希ガス、色素、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体
14	大阪電気通信大学	精密工学科	気体
15	大阪電子専門学校	電子工学科	レーザー、気体、半導体
16	神奈川工科大学	電気工学科	希ガス、金属
17	神奈川大学	理学部情報科学科平塚事務局事務部教務課	
18	金沢大学	理学部物理学科	Ｎｄ：ＹＡＧ
19	金沢大学	理学部物理学科	気体、希ガス、色素、Ⅲ－Ⅴ族半導体
20	和歌山県立紀北工業高等学校	電気科	ＣＯ2、半導体

21	九州大学	理学部化学科	希ガス、CO2 、エキシマ、色素、Nd：YAG、光パラメトリック、その他固体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
22	九州大学	大学院総合理工学研究所エネルギー変換工学専攻	レーザー一般、気体、希ガス、CO2、エキシマ、色素、Nd：YAG、波長可変固体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、真空紫外・X線
23	九州大学	大学院総合理工学研究所エネルギー変換工学専攻	希ガス、その他気体、色素
24	九州大学	大学院総合理工学研究所材料開発工学専攻	ガラス、波長可変固体
25	九州大学	機能物質科学研究所素子開発部門　機能制御研究分野	気体、エキシマ、色素、Nd：YAG、光パラメトリック
26	九州東海大学	工学部	気体、CO2、Nd：YAGレーザー、半導体
27	京都工芸繊維大学	工芸学部物質工学科	ガラス、Nd：YAG、波長可変固体、その他固体
28	京都工芸繊維大学	繊維学部　高分子学科　機能材料教育研究分野	エキシマ、色素，Nd：YAG、半導体
29	京都大学	理学部地球物理学教室	気体、半導体
30	京都大学	ヘリオトロン核融合研究センター	CO2、色素、固体、Nd：YAG
31	近畿大学工学部	電子情報工学科、電子システム研究室	エキシマ
32	熊野工業高等専門学校	電気工学科	気体
33	熊本大学工学部	電気情報工学科　電気エネルギー	エキシマ、その他の気体、Nd：YAGレーザー
34	群馬大学	工学部	レーザー、気体、希ガス、その他気体、固体、Nd：YAG、Ⅲ－Ⅴ族半導体
35	高知医科大学	高知医科大学物理学教室	レーザー一般、気体、希ガス、金属、CO2、その他気体、色素、固体、ガラス、Nd：YAG、波長可変固体、その他の固体、半導体、Ⅲ
36	甲南大学	理学部	レーザー一般、気体、希ガス、金属、エキシマ、その他気体、色素、真空紫外・X線
37	神戸大学	理学部物理学科電波物性物理学講座	その他気体、色素、Nd：YAG、その他固体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
38	静岡大学	工学部知能情報工学科	レーザー一般、気体、希ガス、色素、固体、Nd：YAG、波長可変固体、光パラメトリック、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体
39	仙台電波工業高等専門学校	情報通信工学科	半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
40	仙台電波工業高等専門学校	情報通信工学科	気体、半導体
41	仙台電波工業高等専門学校	電子工学科	気体、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体

42	大同工業大学	電気工学科	気体、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、Ⅲ－Ⅴ族半導体
43	千葉大学	映像隔測研究センター	気体、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、半導体
44	千葉大学	工学部機械工学科	その他の気体、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ
45	中部大学	工学部事務室	レーザー一般、気体、希ガス、金属、ＣＯ２　、エキシマ、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、Ⅲ－Ⅴ族半導体
46	筑波大学	プラズマ研究センター	気体、ＣＯ２　、エキシマ、色素、固体
47	東海大学	工学部光工学科	ＣＯ２、固体
48	東京医科大学病院	外科第一講座	気体、エキシマ、色素，Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、光パラメトリック、半導体、その他半導体
49	東京工業大学	原子炉工学研究所	エキシマ　その他気体　色素
50	東京工業大学	大学院総合理工学研究科エネルギー科学専攻	気体、ＣＯ２、エキシマ、液体、固体、その他の固体、真空紫外・Ｘ線
51	東京大学	工学部電子工学科菊池研究室	希ガス、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、光パラメトリック、半導体
52	東京大学	工学部電子工学科西永研　田中（雅）研	気体、色素、波長可変固体
53	東京大学	工学部電子工学科	気体、希ガス、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
54	東北大学	電気通信研究所応用量子光学研究分野	気体、ＣＯ２、液体、固体、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、光パラメトリック発振器、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
55	富山大学	理学部	気体、ＣＯ２、半導体
56	豊田工業大学	制御情報工学科	気体、希ガス、色素、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体、真空紫外・Ｘ線
57	東京都立工業高等専門学校	電気工学科	気体、半導体
58	長岡技術科学大学	工学部　化学系　丸山　一典研究室	ＣＯ２、エキシマ、Ｎｄ：ＹＡＧ
59	長岡技術科学大学	化学系　工業物理科学講座	色素，Ｎｄ：ＹＡＧ
60	長岡技術科学大学	化学系	ＣＯ２、エキシマ、その他気体、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ
61	長岡技術科学大学	電気系	希ガス、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、光パラメトリック、Ⅲ－Ⅴ族半導体
62	長岡技術科学大学	電気系	ＣＯ２、エキシマ、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ

63	長岡技術科学大学	電気系	気体、CO2、エキシマ、色素、Nd：YAG、半導体
64	長岡技術科学大学	工学部　機械系	CO2、エキシマ、色素、Nd：YAG
65	長岡技術科学大学	電気系	希ガス、エキシマ、その他気体、色素、固体，Nd：YAG、高パラメトリック、半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体
66	長岡技術科学大学	電気系　電波光波大講座	半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
67	新潟大学	工学部	CO2、Nd：YAG、半導体
68	日本工学院専門学校	電子工学科三年制	レーザー一般、気体、希ガス、CO2、液体、色素、固体、ガラス、Nd：YAG、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
69	日本大学	理工学部電気工学科放電・レーザー工学研究室	気体、半導体、CO2、Nd：YAG
70	姫路工業大学	理学部物質科学科光物性講座	希ガス、Nd：YAG、波長可変固体、光パラメトリック
71	福井工業高等専門学校	庶務課	
72	福井大学	教育学部　技術科	気体、CO2、エキシマ、Nd：YAGレーザー、半導体
73	福岡大学	工学部電子工学科古田研究室	気体、Nd：YAG、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
74	福山職業能力開発短期大学校	情報システム系	気体、希ガス、半導体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
75	防衛医科大学校	耳鼻咽喉科	
76	防衛医科大学校	第二外科	CO2、Nd：YAG
77	防衛大学校	通信工学科	気体、CO2、固体、Nd：YAG
78	防衛大学校	材料物性工学教室材料物性講座	気体、希ガス、CO2、色素、Nd：YAGレーザー、その他の固体
79	防衛大学校	電子工学科	気体、CO2　、エキシマ、その他気体、Ⅲ－Ⅴ族半導体
80	北海道大学	電子科学研究所	Ⅲ－Ⅴ族半導体、Ⅱ－Ⅵ族半導体
81	北海道大学	医学部附属病院形成外科	希ガス、色素、Nd：YAGレーザー
82	北海道大学	歯学部歯科補綴学第二講座	希ガス、Nd：YAG
83	宮崎大学	工学部　電気電子工学科	気体、CO2、エキシマ、真空紫外・X線

84	室蘭工業大学		レーザー一般、気体、希ガス、ＣＯ2、色素、Ｎｄ：ＹＡＧ、波長可変固体、半導体
85	山梨大学	工学部	金属、エキシマ、その他気体、色素、Ⅲ－Ⅴ族半導体、真空紫外・Ｘ線

——— 禁無断転載 ———

平成７年３月発行

発　行　　財団法人　データベース振興センター
東京都港区浜松町二丁目４番１号
世界貿易センタービル７階
TEL ０３－３４５９－８５８１

委託先　　財団法人　応用光学研究所
東京都千代田区神田錦町３番２０号
TEL ０３－３２９３－７８２８

印刷所　　三鈴印刷株式会社
東京都江東区大島四丁目６番２４号