

# ETL NEWS



## 電総研ニュース

高温超伝導 SQUID を利用した、構造物の非破壊評価システム

大規模光ニューラルネットワークによる顔認識

高安定フェムト秒光パルスの発生

電子技術総合研究所創立記念式典

受章・その他

**1999.7** vol.594

# 高温超伝導 SQUID を利用した、構造物の非破壊評価システム

## Development of a System for Nondestructive Evaluation of Structures by using HTS-SQUID

基礎計測部 非破壊評価ラボ 葛西直子<sup>\*1</sup>、高島 浩<sup>\*2</sup>  
 SQUID-NDE Lab. Naoko Kasai<sup>\*1</sup>, Hiroshi Takashima<sup>\*2</sup>  
 e-mail: nkasai@etl.go.jp, htakasim@etl.go.jp

We are developing a nondestructive evaluation (NDE) method for structures by using SQUID. At the first step of the development, a HTS-SQUID magnetometer working at 77K was fabricated. A NDE system was made using the SQUID magnetometer in a magnetically shielded room. The potential of the SQUID-NDE system was shown by detecting flaws in metal plates and CFRP (carbon fiber reinforced plastics) plates. It was also shown that the first-order HTS-SQUID gradiometer was applicable to detect those flaws. Since the gradiometer is useful to decrease the ambient magnetic noise, a new NDE system in a normal laboratory will be developed using the HTS-SQUID gradiometer.

### 1. はじめに

航空機や船舶、原子力発電プラントなど、使用中の構造物にどの程度の寿命が残っているかを評価することが安全管理や長寿命化を図る上から非常に重要になっている。これには、材料の劣化の程度を定量的に把握することが不可欠で、現在損傷形態に応じた種々の手法によって材料劣化の検出が行われている。しかしまだ充分ではなく、とくに材料劣化を早期に検出する新しい手法の開発とともに使用下での材料特性変化のメカニズムの解明が要求されている。そこで私達は広い周波数領域(dc~MHz)において周波数に依存しない高い磁界感度を持っている SQUID (超伝導量子干渉素子: Superconducting Quantum Interference Device) を利用することによって金属材料における劣化を早期かつ非破壊で検出するための研究を開始した。しかし、検出能力だけでなく、安定性、信頼性、簡便性、コストなども非破壊評価技術を実用にするための大きな因子となる。素子を液体窒素温度で駆動できると、取り扱いも容易でランニングコストも低くなることから、研究の第1段階として、窒素温度で安定に動作する高温超伝導 SQUID を作製し、これを用いた非破壊検査システムを作製したので紹介する。

### 2. 高温超伝導 SQUID の作製

高温超伝導 SQUID 磁束計の作製にあたって、非破壊評価システムに用いる素子として、再現性良く作

製でき、窒素温度(77K)で動作することを目標にした。このことから、酸化物超伝導体 YBaCuO の超伝導薄膜を用い、接合はバイクリスタル基板の接合面にてできる粒界ジョセフソン接合とし、SQUID の磁界検出コイルは積層構造が不要なダイレクトカップリング型構造とした。また、磁界検出コイルは磁束密度( $B_z$ )を検出するマグネトメータ型と、磁束密度の空間勾

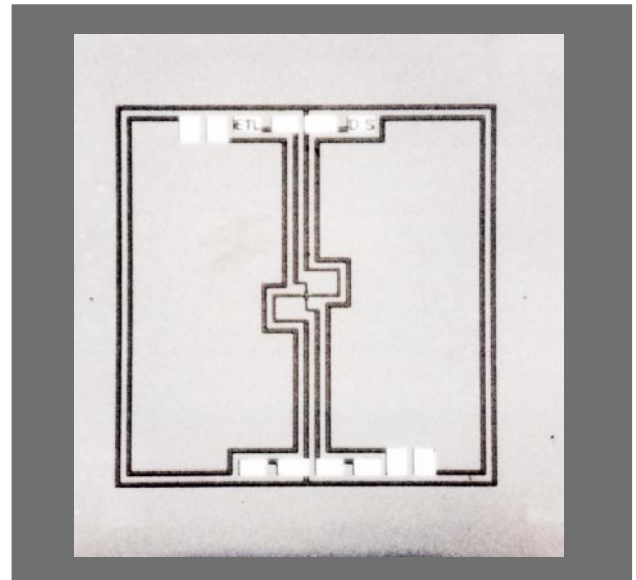


図1 高温超伝導 SQUID グラジオメータの顕微鏡写真  
 このグラジオメータは酸化物超伝導体 YBCO を用いてバイクリスタル基板上に作製された。ダイレクトカップリング型 1 次微分検出コイルの中央部分に SQUID 本体がある構造となっている。

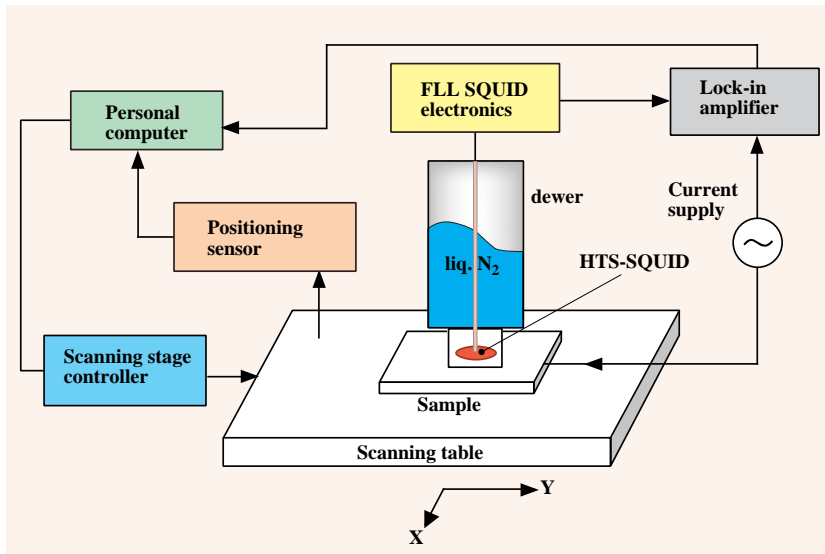


図2 SQUID-NDE システムの構成図

配成分( $dB_z/dx$ )が検出できるグラジオメータ型を作製した。傾角 $36.8^\circ$ のバイクリスタル基板上に作製したYBaCuO 薄膜の超伝導転移温度 $T_c$ はおよそ90Kで、77Kにおける臨界電流密度は $10^7 A/cm^2$ であった。この膜からパターンニングによって作製されたSQUIDマグネトメータとSQUIDグラジオメータはともに液体窒素中で動作し、77Kにおけるマグネトメータの磁束分解能は10Hzで $3 \times 10^{-5} \Phi_0/\sqrt{Hz}$  (最小磁界分解能に換算すると $100 fT/\sqrt{Hz}$ )、またグラジオメータの磁束分解能は $1 \times 10^{-5} \Phi_0/\sqrt{Hz}$  (最小磁界勾配分解能にすると $7.2 pT/cm/\sqrt{Hz}$ )であった。作製したグラジオメータの顕微鏡写真を図1に示す。非破壊検査に用いるSQUIDの最小磁界分解能は検出コイル面積を大きくすることによって良くなるが、空間分解能は悪化する。このため、作製したグラジオメータの検出コイルサイズは $3.5 \times 1.75 mm^2$ と、生体磁気計測などで用いられているものに比べて小さくなっている。

### 3 . SQUID を用いた非破壊評価システム

作製したSQUIDマグネトメータおよびSQUIDグラジオメータを用いて非破壊評価(Non-Destructive Evaluation:NDE)システムを構築した。SQUID-NDEシステムの構成図を図2に示す。システムはSQUIDとその冷却容器、SQUIDの駆動回路、試料を載せてX-Y方向に動かすことができる走査台、試料位置を検出する位置検出装置、信号の収集と走査台の制御を行うPCから構成される。また、材料に発生した傷検出には被測定物に直接交流電流を流し(電流注入法)、ロックイン検出を行っている。空間分解能および検

出感度を高めるために冷却容器の底部の厚みは3 mmまで薄くし、試料とSQUIDの検出コイル間の距離(リフトオフ)を4.5 mmまで短くすることができるようにした。なお、本システムは基本動作を調べるために、磁気シールドルームの内部に設置された。

### 4 . システムの傷検出性能

システムの傷検出性能を調べるために、アルミニウム、銅、ステンレスの板状試験片にスリットおよび貫通穴を人工的に設けて、これらの検出を行った。また、航空機に用いられている炭素繊維を織り込んだ複合

材料のCFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)板に、貫通穴を設けて傷検出を行った。まず、これらの試験片に数mA~50mA程度の振幅をもつ30Hz程度の低周波数の交流電流を流し、試験片上をSQUIDマグネトメータで走査して、磁束密度の分布を測定した。スリットや穴の中心位置を原点とし、電流の流れている方向をX方向とすると、傷の周辺で正のピークと負のピークがX軸に対して対称な位置に観測された。また、穴の直径 $d$ とピークの高さ $h$ との間には、 $h \propto d^3$ の関係が見い出された。測定された傷周辺の磁束密度分布および穴の直径とピーク高さとの関係は、有限要素法によるシミュレーションによる結果と良い一致を示した。これらの結果は、作製した非破壊評価システムは金属材料に発生した傷の位置と大きさを検出できる可能性があることを示している。

航空機には強度があり軽い材料として、CFRPが使用されている。このような複合材料の傷検査に本システムが使用できるかどうかを、CFRP板に穴を開けた試験片を用いて調べた。5cmの間隔で設けられた直径が3mmと2mmの穴の周辺をSQUIDマグネトメータで走査して得られた磁束密度分布を3次元図として表したのが図3(a)である。CFRP板にあけた穴の直径と測定されたピークの高さとの関係を調べたところ、図3(c)に示すように、金属試験片の場合と異なり、穴の直径が小さくなるにつれて高さの減少率が緩やかになっている。これはCFRPの炭素繊維の織り構造が影響しているものと思われる。このことから、CFRPの場合には傷位置は金属材料の場合と同じく検出できるが、傷の大きさを知るためには、あらかじめ

め、傷の大きさとピーク高さの関係を表す回帰式を実験的に得ておく必要がある。

最終的には非破壊評価は現場で行うことになる。現場は通常磁気環境が悪いため、SQUIDを動作させるために磁気雑音の低減を行う必要がある。このために、2つのコイルを差動型に接続した検出コイルをもつ1次微分SQUIDグラジオメータが有効である。私達が作製した高温超伝導SQUIDグラジオメータを用いて傷検出が可能であることを、上述の試験片を用いて確かめた。図3(a)に示す場所のグラジオメータによる検出結果を図3(b)に示す。両者を比較すると図3(a)の微分形になっており、作製したSQUIDグラジオメータが1次微分型として動作していることがわかる。当然であるが、グラジオメータを用いた場合には傷の直上にピークが現れている。

5. まとめ

非破壊評価技術研究の第1歩として、高温超伝導SQUIDを用いて金属材料と複合材料CFRPの傷を磁氣的に検出できることを示すことができた。また、ダイレクトカップリング型構造の1次微分SQUIDグラジオメータを用いても検出可能であることが分かったので、今後高温超伝導SQUIDグラジオメータを用いて、通常磁気環境の中で(磁気シールドルームの外で)傷検出ができる非破壊評価システムを構築する予定である。

研究課題名：材料の非破壊評価技術に関する研究

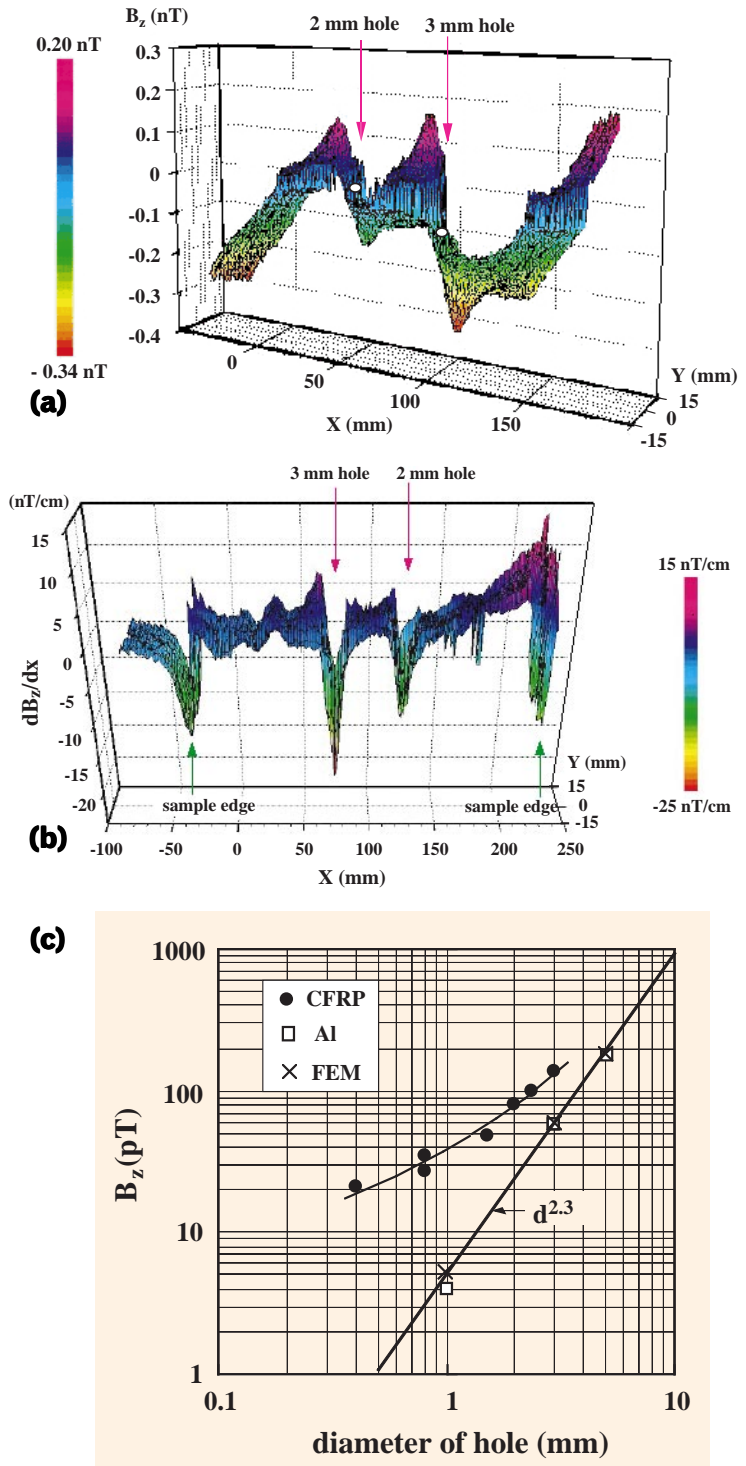


図3 傷検出結果の例

- (a) SQUIDマグネトメータによって検出された、CFRPに開けた3mm と2mmの穴周辺の磁束密度分布。
- (b) SQUIDグラジオメータによって検出された、CFRPに開けた3mm と2mmの穴の周辺の磁束密度の1次微分成分分布。
- (c) 穴の直径と検出ピーク高さの関係。アルミニウムの結果(印)は、有限要素法によるシミュレーション結果(×印)と良く一致している。しかし、CFRPの場合(印)は織りの影響が穴の直径が小さい程強く現れている。

# 大規模光ニューラルネットワークによる顔認識

## Face recognition using a large-scale optical neural network

光技術部 情報光学ラボ 森 雅彦、渡辺正信

Optoelectronics Division, Information Optics Lab. Masahiko Mori, Masanobu Watanabe

e-mail: mmori@etl.go.jp\*

筑波大学 谷貝 豊、谷田貝豊彦

Univ. of Tsukuba, Institute of Applied Physics Yutaka Yagai, Toyohiko Yatagai

We constructed an optical neural network that can directly handle two-dimensional optical information and achieve parallel calculation of learning signals using light. The high-speed operation is expected in the system with parallel optoelectronic devices and spatial light modulators. In addition, a large-scale learning neural network was implemented using optical space parallelism and simple optical alignment between devices. We confirmed the basic performances of the system with the demonstration in the learning experiments to recognize three human faces. In these experiments, the number of connections was about 50,000 and the learning speed was 0.5MCUPS(Connection Update Per Second).

### Key Words

光ニューラルネットワーク、光学習、空間光変調器、顔認識、空間並列

### 1 .はじめに

ニューラルネットワークの重要な特徴は、「並列情報処理」と「学習・自己組織化」であり、従来のアーキテクチャに基づくシステムでは実現がむずかしい情報処理分野に対する応用(認識、制御、予測、組み合わせ最適化問題等)が期待されている。構造的にはニューラルネットワークは、多数の単純な働きをするユニット(ニューロン)と、それらの間の膨大なインターコネクションによって構成されている。実際のシステムでは、これら多数のニューロンとインターコネクションを工学的に実現するシステムが問題となる。一方、これまで高帯域や波長多重等の光の優れた特長を生かした、超高速大容量の光通信や光記録が実用化されてきた。しかし、光情報処理技術を考えてときに利用可能な光の最大の特長は、情報の2次元並列伝送が容易であることである。この特長を用いた並列光インターコネクション技術が光情報技術の中でも最も実用に近いところにある。そこで、現実的な光情報処理システムとしては、並列光演算及び光配線技術の能力を生かした、多数の単純な動作をする演算ユニットと高密度な光配線による大規模な並列処理システムの姿が見えてくる。これはま

さにニューラルネットワークの演算構造が要求するものと一致する。

ニューラルネットワークを用いたシステムの最大の特長は自己組織化、学習能力にある。学習機能を持つ光ニューラルネットワークでは、認識対象の特徴抽出に最適なフィルタを自動的に作成することができ、また入力画像の変型に強いシステムを構築することができる。さらに、個別のシステム設置環境による変化に対しても強い適応性を持つ。その上、システムやデバイスが持つ不均一性や個別の欠陥等の影響も学習により排除することができ、より実用性の高いシステムといえる。

光ニューラルネットワークシステムの最も重要な素子はシナプスの結合荷重を記憶し、学習によって変化させる空間光変調器である。我々はこれまで、大規模かつ高速な光ニューラルネットワークの実現にむけて、Pockels Readout Optical Modulator (PROM) をキーデバイスとする2次元構造光学習型ニューラルネットワークを提案し、この光学システムを用いた学習実験を行ってきた[1]。PROMは、入力光強度に従い、読み出し光の強度を変調する光書き込み型の空間光変調器であり、高解像度での並列加算、減算、

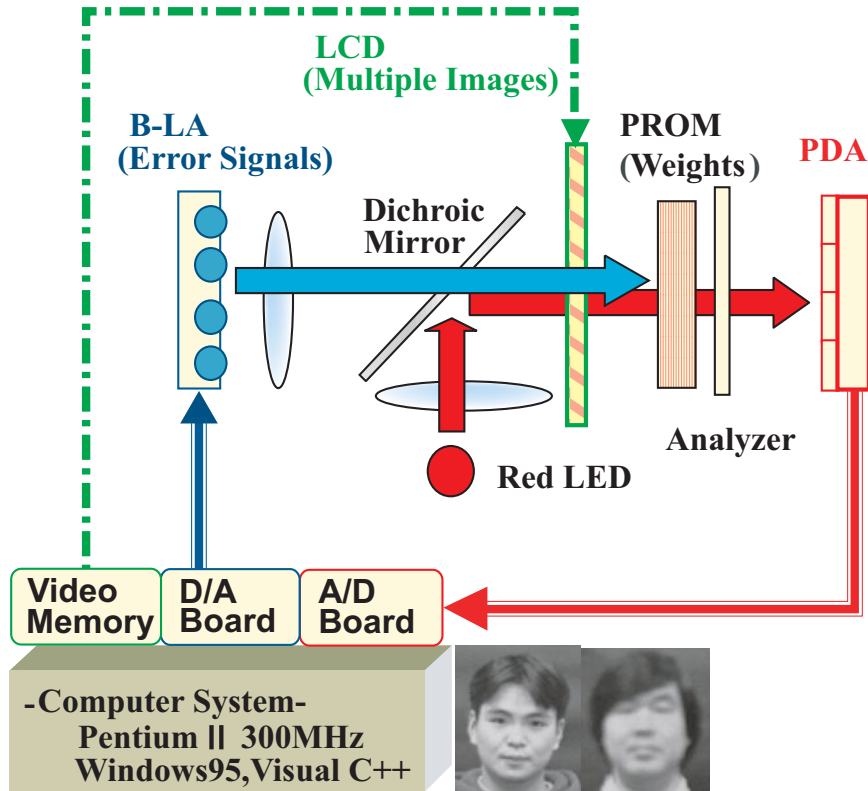


図1 光学システム

およびメモリ機能がある。このPROMをシステムの結合過重デバイスに用い、また青色LEDアレイ(B-LA)、光検出器アレイ(PDA)と組み合わせたシステムを構築することにより、高速動作を可能とした[2,3]。ここでは顔画像の学習と認識を可能としたシステムの構成と動作実験について述べる。

## 2. 光学システム

我々が作成した学習型光ニューラルネットワークシステムを図1に示す。顔画像認識学習の実験においては、まず顔画像の多重像が液晶デバイス(LCD)に表示される。想起過程では、光を用いた並列ベクトル・マトリックス演算を行うために、赤色LED (Red LED) からの読み出し光が、LCD上の多重像とPROM上の結合荷重マトリックスを重ねあわせた画像により空間的に変調される。この演算結果のマトリックス画像をPDAで受光し、そのデータを取り込んだコンピュータ内で、非線形関数が計算され、ニューラルネットワークの演算結果が得られる。

学習過程では、誤差信号マトリックスがコンピュータで計算され、B-LAの発光パターンで表現される。誤差信号マトリックスの各要素と入力多重像の各画像は、光学的に重なるように設定され、誤差信

号と入力ベクトルの演算結果は、更新値として直接PROM上に記録された結合荷重に加えられる。学習係数は、PROMの感度、青色LEDの発光強度及び書き込み時間によって決定される。

このシステムにおいては、PROM上の結合荷重は学習により形成され、LCD上の入力多重像と結像関係にある。従って、想起時にも自動的に結合荷重と入力多重像は結像関係が維持される。これは、LCD上の入力多重像とPROM上の結合荷重の一画素ごとの位置あわせは必要なく、セルフアライメントを実現していることを意味する。これにより、システムの光軸に垂直方向の光学的アライメントはB-LEDの各ピクセル、LCD上の一画像とPDA上の各ピクセルを重ねることのみが必要とされる。たとえば、通常はLCDとPROM上の約400×400点の位置あわせが必要であるが、このシステムでは4×4の大まかなピクセル同士の位置あわせのみでシステムを構成できる。この容易なアライメントにより、本システムでは大規模なネットワークを実現することができる。

## 3. 顔認識学習実験

実験システム上で実現したネットワークは3層構造である。中間層ニューロンは8個であり、入力 - 中

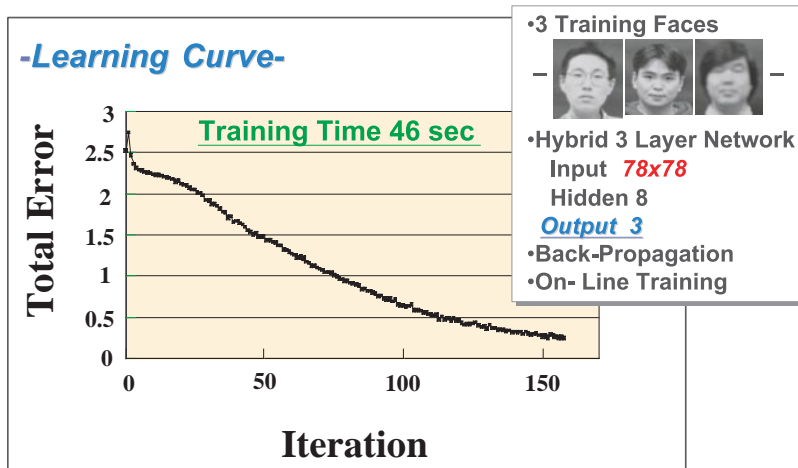


図2 認識顔画像と学習曲線

間層ニューロンのネットワークは前章で述べた光学システムで、中間 - 出力層ニューロンのネットワークはコンピュータ内で計算した。出力ニューロン数は学習する顔画像の数に合わせ3とした。大規模な並列演算が必要な一層目を光学的に実現し、ネットワークの小さい二層目を制御性の良い計算機上のシミュレーションを用いることにより、トータルの性能を上げることが出来る。教師信号は、それぞれの認識画像あたり1個の"1"ニューロンを持つパターンである。3個の出力ニューロンにより、画像認識結果を表す。この時、光学システムのコネクション総数は、PROMの分解能によって制限され、約50000である。

学習アルゴリズムには、バックプロパゲーション学習を採用した。学習は、結合荷重が何もPROMに書かれていない状態からスタートする。このとき、実際の結合荷重の初期値はシステムのデバイスや光学系の不均一により、微小でランダムな値を持つ。1回の学習サイクルは、それぞれの3つの画像を連続して学習することによって完了する。図2に学習曲線と認識を行った3人の顔画像を示す。約46秒、150回の繰り返し学習により、3人の顔画像を認識することができるネットワークを構成することができた。

学習1サイクルあたりの動作時間は約96ミリ秒であり、総コネクション数から学習速度として0.5MCUPSの性能が確認された。システムの動作のうち、ボトルネックとなっているのは液晶デバイスに顔の多重像を表示する部分であり、入力画像を切り替えない特殊な学習状況においては約8MCUPSが実現される。

#### 4. まとめと今後の展望

光技術の得意な並列情報伝送、乗算・加算等の単純演算により、ニューラルネットワークの並列演算部分の高速化が実現できる。しかし、光だけでは実現が困難な非線形、論理演算、プログラミングによる柔軟な制御技術等は電子的に実現するほうが有利である。これらを組み合わせた光ニューラルネットワークシステムの研究が続けられてきたが、近年デバイスの急激な進歩に伴い、ようやく実用システムの可能性が見えてきた。そのなかでも、特に光の並列性を学習信号の計算にも生かした光学学習型のニューラルネット

ワークは有望なシステムである。

リアルワールドコンピューティング(RWC)プロジェクトの一環として我々が構築した、顔画像の認識を学習できる光学学習型のニューラルネットワークシステムは、基礎的な実験システムではあるが、光ニューラルネットワークの画像処理に対する大きな可能性を示している。現在の我々のシステムは一般のパーソナルコンピュータと同等の学習速度を実現しており、さらなるシステムの改良により、大規模な並列電子計算機並みの性能が実現可能である。さらに、新有機材料を用いた光アドレス型の空間光変調器、RWCプロジェクトで開発中のデジタルスマートピクセルや、並列光電子素子、画像表示素子等の高速、高解像度化の進展により、電子技術だけでは到達不可能なレベルの大規模高速学習システムの構築が期待できる。

#### 参考文献

- [1] M.Mori, Y.Yagai, M.Watanabe, T.Yatagai, "Optical learning neural network with Pockels readout optical modulator", Applied Optics, 37, 2852-2857 (1998).
- [2] T.Yatagai, Y.Yagai, M.Mori, M.Watanabe, "Real-time face recognition system with optical learning neural network", Proc. SPIE, 3466, 240-245 (1998).
- [3] Y.Yagai, T.Yatagai, M.Mori, M.Watanabe, "Large-scale optical neural network with high-speed learning", OSA Topical Meeting on Optics in Computing (OC'99) (Snowmass, April 1999).

研究課題名:「生体機能応用型産業技術研究開発」高並列大容量演算システムの評価

# 高安定フェムト秒光パルスの発生

## - パルスタイミング揺らぎを 20fs に抑圧 -

### Generation of Highly Stable Femtosecond Optical Pulses

光技術部 土田英実

Optoelectronics Division Hidemi Tsuchida

e-mail:tsuchida@etl.go.jp

The pulse repetition frequency of a mode-locked Cr:LiSAF laser has been locked to a stable crystal oscillator by a negative electrical feedback technique. A digital phase detector has been developed to obtain phase error signals between the laser pulse and the reference. The rms pulse timing jitter of 20fs has been achieved for 25MHz~10kHz bandwidth.

#### 1. はじめに

テラビット情報伝送や超高速光計測への応用を目指して、持続時間がフェムト秒(1fsは $10^{-15}$ s)領域の光パルスを発生できるモード同期レーザーの開発が進められている。近年の固体レーザー技術、モード同期制御技術の進歩により、持続時間が100fs以下、繰り返し周波数が10~100MHzの光パルスを発生できる受動モード同期レーザー装置が実用化され、種々の分野で利用が始まっている。光パルスの繰り返し周波数は、光がレーザー共振器を往復する時間により決まるが、共振器長が熱的、機械的な外乱により変化した場合、繰り返し周波数が変化し、パルスタイミン

グの変動として現れる。モード同期固体レーザーでは、パルス幅の10倍以上のタイミングジッターが容易に生じることが知られており、応用上の障害となることが指摘されている。また、モード同期レーザーを他の機器と組み合わせて利用する場合、光パルスが電気信号を同期していることが望ましい。

このようなパルスタイミング揺らぎを抑圧して安定な光パルスを発生するため、揺らぎを高精度に計測する方法や、タイミング安定化の研究が進められている。タイミング揺らぎの評価に関しては、当所で提案・開発した「時間領域復調法」と呼ばれる新しい方式が、標準的な測定法として広がりつつある。これ

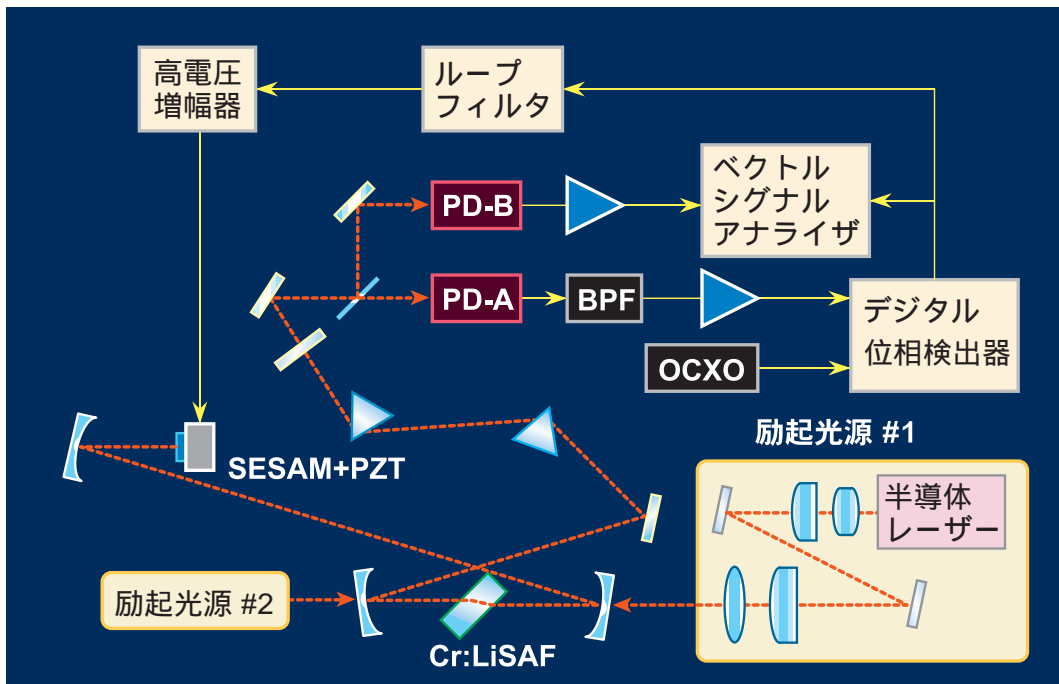


図1 モード同期レーザーのパルスタイミング安定化装置

は従来から用いられてきた周波数領域の間接的な測定法に対して、時間領域で瞬時位相を直接検出する方式で、広帯域、高ダイナミックレンジの評価を可能にした。

パルスタイミング安定化に関しては、これまでに電気的負帰還制御を利用して、光パルスを電気信号に位相同期する技術が開発されている。この方式は光パルスと基準電気信号の位相差をマイクロ波ミキサで検出し、共振器長を制御して安定化を行うものである。ところが、位相検出に用いられるマイクロ波ミキサは、その出力にオフセットやドリフトを生じ、また光パルスの振幅雑音の影響を受けるため、性能を著しく制限することが指摘されている。

当所では高安定フェムト秒光パルスの発生を目指して、負帰還制御を利用したモード同期レーザーのパルスタイミング安定化の研究を進めている。従来のマイクロ波ミキサの問題点を克服するため、オフセットやドリフトの生じないデジタル位相検出器を開発して安定化実験を行い、タイミング揺らぎを世

界最高の 20fs まで抑圧することに成功した。

## 2. 実験装置

図 1 に示すように、実験は半導体レーザーで直接励起する方式のモード同期 Cr:LiSAF レーザーを用いて行った。半導体可飽和吸収ミラー (SESAM) を用いた受動モード同期により、持続時間 80fs、繰り返し 100MHz のパルスを発生する。SESAM はピエゾアクチュエータ (PZT) に直接張り付けて、共振器長を可変できる構造にした。安定化の基準となる発振器として、周波数 100MHz のオープン安定化水晶発振器 (OCXO) を用いた。発振器の位相雑音は周波数オフセット 0.1, 1, 10kHz において、それぞれ -135, -163, -173dBc/Hz である。レーザーの出力光強度をフォトダイオード (PD-A) により電気信号に変換し、100MHz の基本波成分を発振器出力とともにデジタル位相検出器に入力した。

従来のマイクロ波ミキサを位相検出器として用いた場合、出力電圧にオフセットとドリフトを生じ、ま

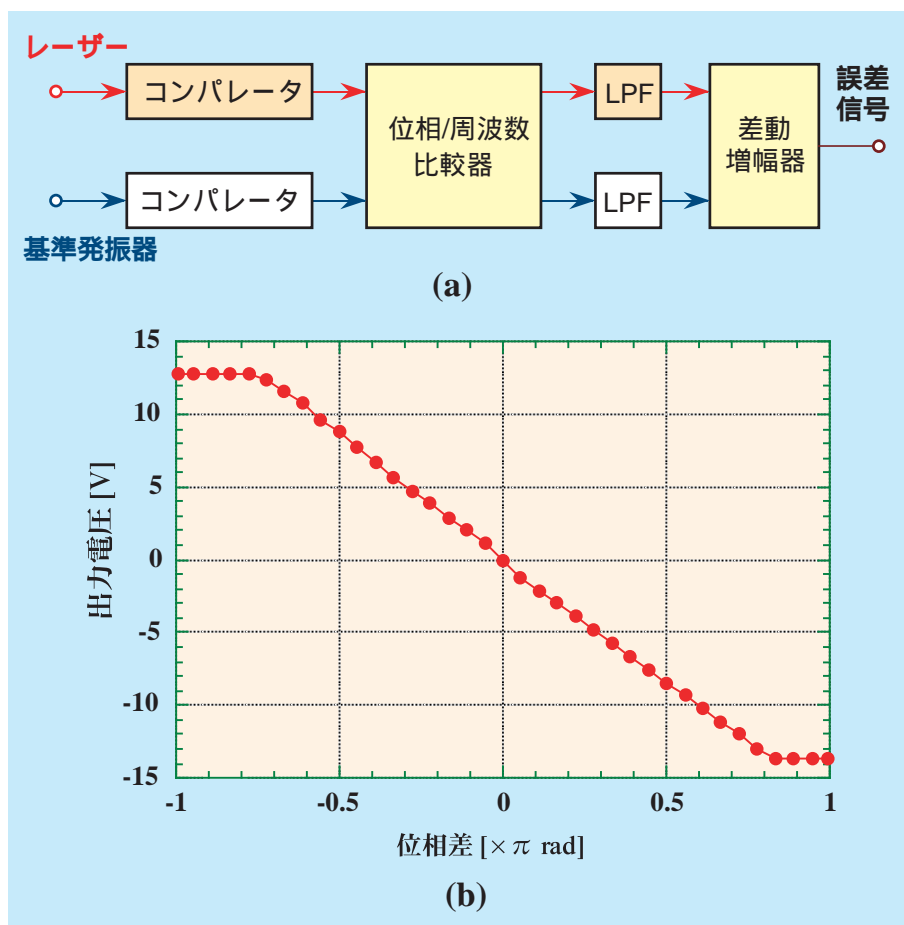


図2 デジタル位相検出器の(a)構成と(b)入出力特性

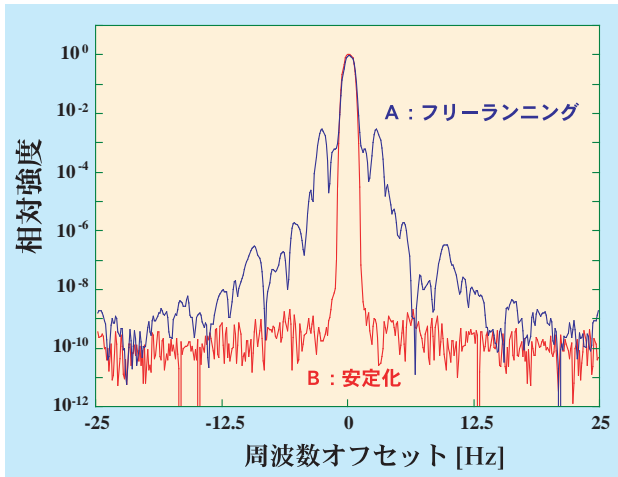


図3 パルス光強度基本波成分のパワースペクトル

た入力信号の振幅依存性により、レーザーの強度変動の影響を受けることが知られている。本研究ではこれらの影響を排除するため、図2(a)に示す構成のデジタル位相検出器を開発した。2つの入力信号はコンパレータによりECL(Emitter-Coupled Logic)レベルのデジタル信号に変換される。コンパレータは600MHzまで動作可能であり、変換されたデジタル信号波形は入力信号の位相のみに依存し、振幅変化に影響されない。コンパレータ出力は位相/周波数比較器とよばれる論理回路ICに入力される。この回路では入力信号間の位相の進み/遅れと、信号の立ち上がりの時間差を検出し、位相差に比例する持続時間を有するパルスを発生する。位相/周波数比較器は800MHzまで動作可能であり、その出力はフィルタと差動増幅器に入力してアナログ信号に変換し、負帰還制御に用いる。試作したデジタル位相検出器の入出力特性を図2(b)に示す。出力電圧は入力信号の位相差に比例して変化し、傾きは $-7.84\text{V/rad}$ である。この特性は入力信号の振幅が $1.5\sim 5.0\text{V}$ の範囲で一定であり、また零点オフセットは $1.3\text{mrad}$ で、ドリフトは観測されなかった。このようなデジタル信号による位相差検出を用いることにより、マイクロ波ミキサの欠点を克服できる。

デジタル位相比較器の出力はループフィルタ、高電圧増幅器を介して piezoelectric actuator に帰還し、光パルスと基準発振器の位相差が零になるように制御を行った。このような負帰還制御の構成は、電気信号の制御に用いられる位相同期ループと同一である。安定度の評価は当所で開発した時間領域復調法により行い、デジタル位相比較器出力、および制御ループ

外に配置されたフォトダイオード(PD-B)の出力をベクトルシグナルアナライザにより解析した。

### 3. 実験結果

図3は制御ループ外(PD-B出力)で観測したパルス光強度基本波成分のスペクトルである。中心周波数は $100\text{MHz}$ 、分解能帯域幅は $1\text{Hz}$ である。Aはフリーランニング時の測定結果で、観測中に中心周波数がドリフトするため、平均化処理は行わずに測定されたものである。タイミング揺らぎに起因する大きなサイドバンド成分が生じており、周波数オフセット $3\text{Hz}$ 付近に現れているピークは、レーザー共振器に用いられている機構部品の機械的な共振によるものである。Bは安定化時の測定結果で、サイドバンド成分はほとんど抑圧され、測定系の分解能で制限されるスペクトル形状を示している。

図4にパルス繰り返し周波数の相対変化を示す。Aはフリーランニング状態の測定結果で、 $3\text{Hz}$ の周期

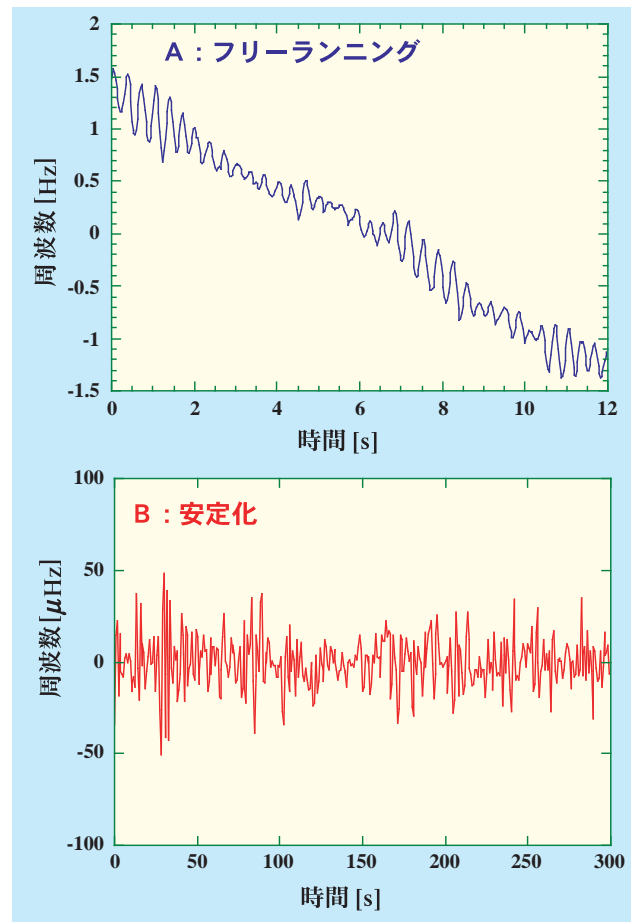


図4 パルス繰り返し周波数の時間変化

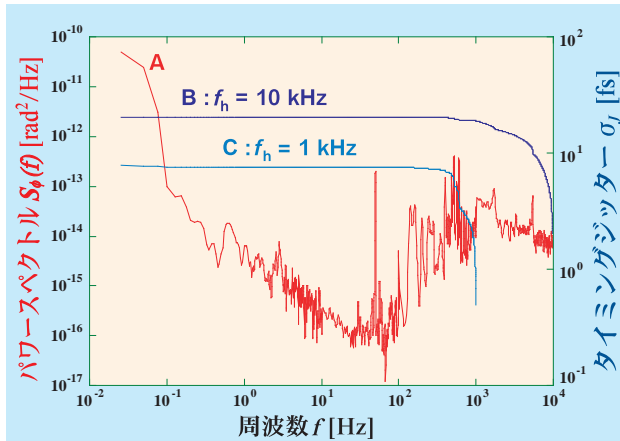


図5 位相雑音パワースペクトルとタイミングジッター

的な変動とドリフト成分が現れている。ドリフトは温度変動による共振器長の変動に起因するものである。Bは安定化時の結果で、基準発振器に対する相対的な周波数変化を表している。100MHzの中心周波数に対して、変動は $100\mu\text{Hz}$ 以下に抑えられている。

図5は誤差信号(デジタル位相比較器出力)パワースペクトルの測定結果である。この実験ではベクトルシグナルアナライザの内部基準発振器の位相雑音が、安定化の基準発振器であるOCXOの位相雑音よりも大きいため、絶対的な安定度を評価することが困難である。そこで誤差信号を評価して、基準電気信号に対する相対的な揺らぎを評価した。実際の応用においても、絶対的な安定度よりも基準に対する相対的な安定度のほうが重要になる場合が多い。Aは位

相雑音パワースペクトルで、0.1Hz~10kHzの周波数範囲で雑音パワーは $10^{-13}\text{rad}^2/\text{Hz}$ 以下に抑圧されている。周波数0.1Hz以下の雑音パワーの上昇は、測定器の分解能帯域幅によるものである。また、周波数1~10kHzに残留している雑音成分は、励起半導体レーザーの強度雑音によるものである。B、Cは位相雑音パワースペクトルを積分して見積もったタイミングジッターである。基準発振器に対する相対的ジッターは、25MHz~10kHz、25mHz~1kHzの積分範囲に対して20fs、および7fsである。これらの値はこれまで報告されている実験の中では最小の値であり、初めてタイミングジッターを光パルスの持続時間以下に抑圧できた。この図からわかるように、残留しているジッターの主な原因は、周波数1kHz以上の雑音成分であり、これらを抑圧することにより、一層の低ジッター化が期待できる。

#### 4. まとめ

デジタル位相検出器を用いた負帰還制御により、モード同期レーザーのパルスタイミングを安定化し、タイミング揺らぎを20fsにまで抑圧することに成功した。今後は励起半導体レーザーの強度雑音の低減等により、性能向上を図る予定である。

#### 研究課題

産業科学技術開発

石油及びエネルギー需給構造高度化技術開発評価

超短パルス光エレクトロニクス技術の評価

## ● '99統一公開 (1999.7.30)

つくば本所及び大阪ライフエレクトロニクス研究センターで同時開催



今年も、統一公開が工業技術院各研究機関で行われます。電総研では、つくば本所及び大阪ライフエレクトロニクス研究センターを同時に公開します。

つくばでは、「もっと愛して♥ この科学 私を未来に連れて行って」をキャッチフレーズに、13の研究内容を公開します。詳細は下記にお問い合わせ下さい。

大阪ライフエレクトロニクス研究センターは2年ぶりです。「のぞいてみよう。ふしぎな科学のおもしろさ」をキャッチフレーズに、脳の働き、色を感じる、みえない光などをお見せします。

問い合わせ先

つくば (電話 0298-54-5059)

大阪 (電話 06-6494-7854)

ホームページ (<http://www.etl.go.jp/jp/introduction/Openhouse/touitu99/tsukuba/tsukuba1.html>)

## 電子技術総合研究所創立記念式典 平成11年7月1日

### 所長挨拶

#### 梶村 皓二



電子技術総合研究所は創立108周年を迎えました。1891年の創立以来、時代の変化にしっかり対応し、時には時代を先取りして、わが国の科学技術の発展に寄与してきたことの重さは、今までの歴史以上に、これからの私たちにとって大きな資産となり、社会的責任を持つことをしっかり心に留めておくことが大切です。

電総研創立の時期は、科学的研究が役に立つことが認められ、社会組織の中に地位を得て研究開発が促進される時代の始まりでした。科学技術と社会の関係は、歴史の中で少なくとも3つの段階に分けて考えられています。

第1の段階は16世紀半ばから18世紀終り頃までで、科学アカデミーが科学者の間の協力や情報共有の中心であった高尚なホビーの時代です。当時、ロンドンの王立協会は会員のもちよった会費で運営されていました。王立協会の中心にいたニュートンは、たまたまケンブリッジ大学にいましたが、これはいわば偶然で、当時の大学が科学研究を助けたわけではなかったそうです。

第2の段階は19世紀から第2次大戦までで、大学や科学技術系学校が研究の中心になった時代です。電総研は、この時期に社会との接点を明瞭にするために、大学と違って設立されました。次に来る段階を考えれば、時代を先取りしたものでした。

第3の段階は第2次世界大戦以後で、コンピューターの開発が代表例に挙げられるように、科学技術の研究開発が国の命運を決める重要な問題であることが、非常に多くの人に認識され、政府、企業、財団などから大量の資金が投入されるようになった時代です。科学技術が社会の主流に出てきたわけです。この変化は、科学と社会との関係の新しい時代を画するものであることを強調して、「科学技術の制度化」と呼ぶ人がいます。2つ目、3つ目の段階は前の段階が否

定されたわけではなく上に積み重ねられていったと言うべきだと思います。

さて、社会のメイン・ストリートに出てきたことによって、認知され、サポートされている科学技術の、今日から未来にかけての社会での役割を問い直さなければなりません。好奇心と興味だけに基づく第1段階、従来の大学型研究の第2段階の考えに留まっているのは論外で許されません。今や、快適で心豊かな人類の生存のために、現在個々に分かれて発展している科学技術の第3の段階を総括して、第4の段階に乗り出すときが到来しています。

私たちが、自分の仕事が今後どのように役に立つかといった将来へのビジョンを、自分自身が心底納得して持つこと。そのビジョンが正しいかどうか確認するために、様々な人に問いかけ、意見を聞き、確固とした信念を持つに至ることが求められます。ビジョンの説得には非常な忍耐が要求され、バイタリティも必要です。そうした忍耐強い場を経て得ることのできた「将来への確信あるビジョン」こそが、信念を生み出すのだと思います。信念なしには責任を持って仕事をやり遂げることはできないでしょう。こうした努力の上で、自信と勇気を持って新たな第4の段階を切り開いて行こうではありませんか。

#### 平成11年度業務表彰受賞者

当所において優秀な業績をあげた職員等に、創立記念式典において表彰を行っています。今年度は以下の方たちが受賞されました。

#### 業績賞（2件）

二重ゲートMOS電界効果トランジスタ(XMOSFET)の研究開発

電子デバイス部：鈴木英一、石井賢一、金丸正剛、前田辰郎、永井清子、関川敏弘

#### （業績内容）

情報化社会が21世紀へさらに発展するためにはシリコン超高集積回路が不可欠です。

本研究では、絶縁膜上での最小ゲート長40nmMOSEFTの試作に成功し、XMOS構造が将来の極短チャネルMOS素子の実現にきわめて有効であることを実証しました。これは内外にも大きな注目を集めています。（詳細は電総研ニュース1998年8月号参照）

小型蓄積リングによる遠紫外域自由電子レーザーの研究開発

量子放射部：山田家和勝、清 紀弘、山崎鉄夫（併任）、大垣英明、三角智久、鈴木良一、大平俊行、豊川弘之

（業績内容）

本研究は、小型電子蓄積リングNIJI-IVをベースとする自由電子レーザー装置を用いて遠紫外域における自由電子レーザー(FEL)発振に成功するとともに、さらに改良を重ね1998年10月には世界最短波長記録を更新する212nmでのFEL発振を達成したものです。

この成果は、今後の自由電子レーザーの真空紫外化・実用化につながる技術として大きな意味があり

ます。（詳細は電総研ニュース1998年5月号、10月号参照）  
優秀ホームページ賞（3件）

フェムト秒テクノロジースーパーラボ、情報統合対話ラボ、国際研究協力推進室



## 受賞

平成11年度（第12回）通商産業省研究業務優秀者表彰を2氏が受章（1999年6月11日表彰）

通商産業大臣賞

伊原英雄氏（材料科学部）



（業績名）

高性能Cu-1234系高温超伝導材料の発見とその開発研究

（業績内容）

本研究は大規模な超伝導産業の育成、並びに大規模な超伝導技術の普及に不可欠な、液体窒素温度77Kで最高性能をもつ低異方性Cu系高温超伝導材料CuBa<sub>2</sub>Ca<sub>3</sub>Cu<sub>4</sub>O<sub>12-y</sub>(Cu-1234)の探索、発見、開発の研究である。

氏は、Cu-1234系の最高性能超伝導材料にふさわしい多くの特性を次々に発見し、その機構を電子構造と超伝導原理に基いて解明してきた。また本Cu系材料を実用材料に供すべく、薄膜の作製法の開発にも成功し、Y系の2倍、Bi系の10倍のJc(77K, 10T)を実現した。

工業技術院長賞

松本和彦氏（電子デバイス部）



（業績名）

走査プローブ法による単一電子素子の研究

（業績内容）

今日の爆発的に増大する情報処理に対処するために、素子の微細化による半導体集積回路の高集積化技術の開発は急務である。しかし近い将来、素子の寸法が数10nm程度になると、従来の動作原理ではデバイスが動作しなくなる。

氏は従来の微細加工技術の加工限界をブレークスルーするために、従来の手法とは全く異なる「走査型プローブ顕微鏡を用いた新しい微細加工技術」を考案、開発し、これを用いて10nmのサイズの電子デバイスが作製できることを世界で初めて示した。さらにこの10nmの微細加工技術を用いて、従来手法では形成できない新しい平面構造の単一電子トランジスタ、及び単一電子メモリの構造を考案し、その室温動作を実現した。

## サイエンスキャンプ'99 (1999年8月3日～5日)

近年、一般に青少年の理工系離れが言われ、そのためには、豊かな科学的素養を持った青少年を育成することが急務になっています。

サイエンスキャンプは、研究現場を経験することにより、科学を理解してもらう場として行われます。

電総研では以下のものを体験してもらいます。  
 A.「模型スターリングエンジンを作ってみよう」  
 B.「高温超伝導体を作ってみよう」  
 C.「太陽電池を作ってみよう」  
 (本件問い合わせ先：0298-54-5075)

### 人事異動

氏名	(新)	(旧)
平成11年6月1日付		
諏訪 基	知能システム部長の解除	次長兼知能システム部長
平井 成興	知能システム部長 工業技術院総務部研究開発官の併任解除	知能システム部総括主任研究官兼工業技術院総務部研究開発官
末廣 尚士	知能システム部総括主任研究官	知能システム部主任研究官
小島 功	企画室企画班に併任 工業技術院総務部計画課研究情報管理企画室に併任	情報アーキテクチャ部主任研究官
有田 正規	知能情報部に併任	超分子部
平成11年6月9日付		
栗山 エミ子	大阪工業技術研究所総務部長	総務部庶務課長
吉岡 孝	総務部庶務課長	資源環境技術総合研究所総務部業務課長
平成11年6月22日付		
清水 肇	九州工業技術研究所長	電子基礎部長
小柳 正男	電子基礎部長	基礎計測部総括主任研究官
坂本 泰彦	基礎計測部総括主任研究官	基礎計測部主任研究官
平成11年6月29日付		
川合 康夫	通商産業省	総務部長
諏訪 基	総務部長に併任	次長
平成11年6月30日付		
諏訪 基	総務部長の併任解除	次長兼総務部長
山田 拓三	総務部長	通商産業省大臣官房付

編集 〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-4 工業技術院 電子技術総合研究所 0298(54)5059

表紙写真：高安定モード同期 Cr:LiSAF レーザー

URL <http://www.etl.go.jp/> e-mail: [info@etl.go.jp](mailto:info@etl.go.jp)  
 印刷・製本 ニッセイエプロ株式会社