

## 巻頭特集④

# 光(レーザー)

(独) 産業技術総合研究所計測標準研究部門  
電磁波計測科 井上武海

### 1. はじめに

レーザーや光ファイバ技術の利用は、通信、情報、加工、医療分野などで急速に拡大、普及しており、光産業分野の調査によると 2004 年度の国内生産額は 4 兆円を予測している。これに伴い、その技術基盤となる測定技術や計測器の高性能化や信頼性に対する要望も年々高度化している。これまで産総研計量標準総合センター(NMIJ)では可視から赤外域のレーザーパワー、レーザーエネルギーおよび光ファイバ減衰量等レーザー出力関連の基本パラメータの精密計測とその校正技術に関する研究を行い、国家標準を確立して産業界に供給している。

供給している標準の種類とその範囲を表 1 に、また整備計画に基づいて、研究・開発を行っている標準量を表 2 に示す。すでに供給されている標準についても、範囲の拡大、信頼性を向上するための研究を進め、トレーサビリティの高度化と国際的に同等性が認められる品質システムへの適合を目指している。

表 1 供給されているレーザー関連標準量の種類と範囲

| 標準量                   | 校正範囲             |               | 校正不確かさ                          | 校正の種類     |
|-----------------------|------------------|---------------|---------------------------------|-----------|
| レーザーパワー               | 488, 515 nm (Ar) | 10 mW~200 mW  | 0.2%(k=2)                       | JCSS、依頼試験 |
|                       | 633 nm (He-Ne)   | 50 μW~10 mW   | 0.2%(k=2)                       | JCSS、依頼試験 |
|                       | 1550 nm (LD)     | 50 μW~10 mW   | 0.3%(k=2)                       | JCSS、依頼試験 |
| 光ファイバ用パワーメータの直線性(減衰量) | 1550 nm (LD)     | 0 dBm ~-90dBm | 4.5 X 10 <sup>-3</sup> dB (k=2) | 依頼試験      |

表 2 整備計画に基づき供給が予定されている標準量と範囲

| 標準量                   | 校正範囲                       |               | 校正の種類 | 供給開始    |
|-----------------------|----------------------------|---------------|-------|---------|
| レーザーパワー               | 488, 515 nm (Ar)           | 200 mW ~ 1 W  | 依頼試験  | 2006 年度 |
|                       | 1.06 μm(Nd:YAG)            | 1 W ~ 10 W    | 依頼試験  | 2007 年度 |
|                       | 10.6 μm (CO <sub>2</sub> ) | 1 W ~ 10 W    | 依頼試験  | 2005 年度 |
| レーザーエネルギー             | 1.06 μm(Nd:YAG)            | 1 ~ 10 mJ     | 依頼試験  | 2006 年度 |
| 光ファイバパワー              | 1.3 μm, 1.55 μm            | 10 μW ~ 1mW   | JCSS  | 2005 年度 |
| 光ファイバ用パワーメータの直線性(減衰量) | 1.55 μm                    | 0 dBm ~-90dBm | JCSS  | 2006 年度 |

## 2. レーザパワー

レーザパワーの絶対値を求める標準測定では、絶対放射計の一種であるカロリメータのような熱型の検出器を用いる。

この場合、受光部にヒータを埋め込むことによって、絶対値は直流電力との比較から直接導出できる利点がある。

可視・近赤外域の $\mu\text{W}\sim\text{mW}$  レベルにおいて、レーザパワー標準を開発し、計量法トレーサビリティ制度(JCSS)、および依頼試験により標準の供給を行っている。

従来 JCSS の指定校正機関であった(財)日本品質保証機構(JQA)を通して、波長やパワーレベルの範囲を拡大して産業界に供給してきたが、2004年4月からはNM IJ が直接認定事業者の特定二次標準器の校正を行う体制を整えた。

トレーサビリティの範囲は、波長  $0.488\sim 1.5\ \mu\text{m}$ 、パワーレベル  $50\ \mu\text{W}\sim 200\ \text{mW}$  である。特に  $50\ \mu\text{W}\sim 10\ \text{mW}$  レベルについては、高精度化のために反射率が非常に少ない吸収体を用いるとともに、レーザパワーと置換する直流電力の等価性を極限的に良くした図1に示す高感度カロリメータ測定システムを開発し、校正システムの評価を行っている。図2はその写真である。

一方、 $200\ \text{mW}$  以上ではレーザパワーの標準はないため、その確立と供給体制の早急な整備が望まれている。

高パワー測定用のカロリメータでは、受光部の大型化と強制放熱の必要性から水冷構造が採られてきたが、冷却水の温度や流量の制御に依存して測定不確かさが増大してしまうことが最大の

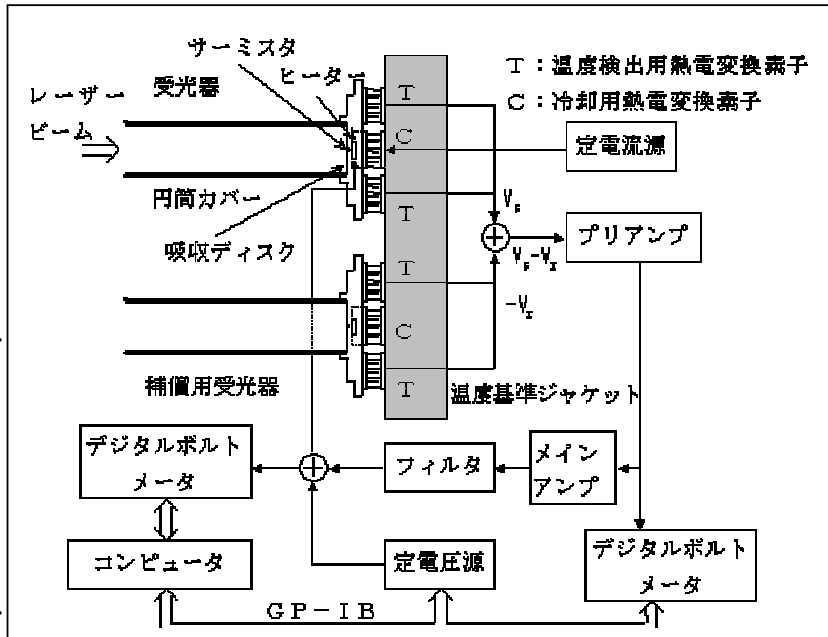


図1 高感度レーザパワーカロリメータの測定システム

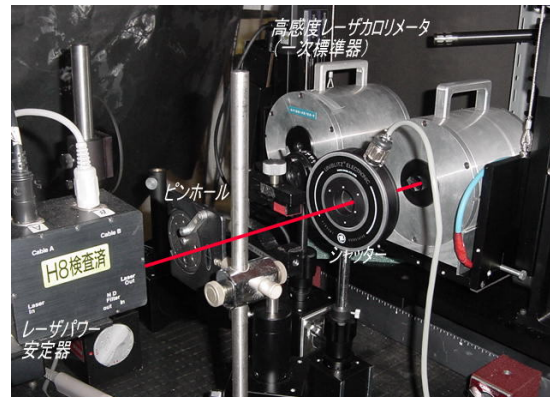


図2 レーザパワー標準供給時の設置例

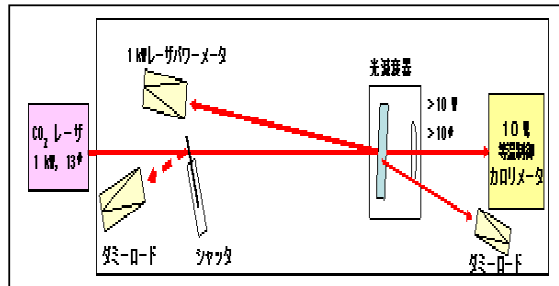


図3 光減衰器と等温制御カロリメータを組み合わせた高パワー測定系の概要

問題であった。そこで、高パワー用の光減衰器と電子冷却による等温制御カロリメータを組み合わせたシステムを提案し、その開発を進めている。

開発中の可視及び波長 10.6  $\mu\text{m}$ , パワー1 kW までのレーザに対応できる測定系の概要を図 3 に示す。図 3 の光減衰器は基準面に高反射コートを施したビームスプリッターである。レーザパワーの絶対値は直線性が保証された光検出器を用いて光減衰器の反射光と透過光のパワー比を測定しておき、1/100 程度に減衰された透過光パワーの絶対値をカロリメータで求めて算出する。10 Wカロリメータは、原理的には図 1 に示す mW レベルのものと同じであるが、冷却モジュールの放熱面に強制的な放熱機構を設け、温度基準ジャケットと熱的に分離して時間応答の短縮と精度の向上が図られている。

### 3. レーザエネルギー

加工用や医療用レーザなどで多用されているパルスレーザは、加工精度や人体への安全性の観点から、そのエネルギー値の信頼性がきわめて重要である。レーザエネルギーの絶対値を求める標準測定では、パワー標準と同じくカロリメータ方式が用いられる。

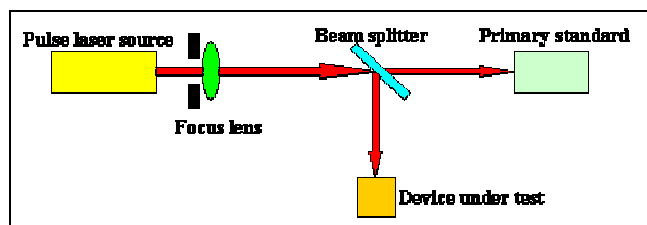


図 4 レーザエネルギー校正システムの例

レーザ光源からの単一レーザパルスがカロリメータ内部に入射すると、そのエネルギーは吸収体によって吸収され、その温度が上昇する。この温度上昇は、熱電対で計測され電気的な信号として出力される。カロリメータの絶対感度(単位エネルギー入力に対する出力電圧の比  $V/J$ )は、カロリメータに既知の電気的なエネルギーを与えたときの応答から求めることができる。

レーザエネルギー標準は、被試験器(DUT)のレーザエネルギーに対する出力感度を決定するという形で供給される。その校正体系の例を図 4 に示す。NMIJ では、波長 1.06  $\mu\text{m}$ 、エネルギー10 mJ の Nd:YAG を対象としたレーザエネルギー標準の開発を進めており、2006 年の供給開始を目指している。

### 4. 光ファイバ減衰量

光ファイバや装置を伝搬する光は吸収や散乱を受け徐々に減衰して出力される。このときの入力光パワーと出力光パワーの比は光減衰量と呼ばれ通常 dB で表示される。光パワーメータは光通信分野では最も基本的な測定器であり、100 dB ( $10^{10}$  倍)のダイナミックレンジを持つものが市販されている。

このような広いパワー範囲全域にわたる校正は、光パワー標準との比較による測定では不可能であり、パ

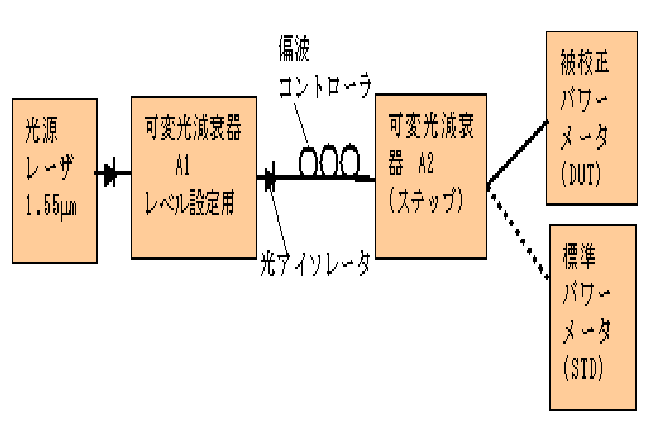


図 5 広いダイナミックレンジをもつ光パワーメータの直線性校正システム

ワームータの指示値が入射光パワーに比例している指標となる直線性の標準が必要となる。

光パワーメータの直線性が校正されれば、減衰量の正確な測定が可能になるので、広いダイナミックレンジの光減衰量標準も実現され、各種の光デバイスの校正も可能となる。すなわち、光パワーメータの直線性の標準と減衰量標準とは同じ意味となり、同時に実現される。

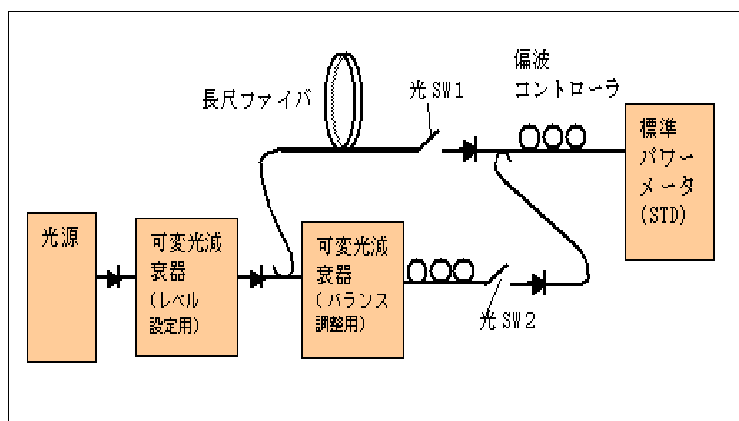


図 6 重ね合わせ法による標準パワーメータの校正

NMIJ では、図 5 に示す光パワーメータの直線性を校正するシステムを開発した。DUT を光減衰器 A2 に接続し、A2 を既知の減衰量だけステップ状に変え、その際の DUT の指示値の変化の差を調べることで、このパワー区間での直線性が評価される。可変減衰器 A1 を使って隣り合う区間を次々に設定し、同様の測定を繰り返すことにより、広いパワー範囲における直線性が校正される。ここで基準になる減衰量ステップ  $\alpha$  は、A2 の接続を標準パワーメータ (STD) に切り替えて求める。標準パワーメータの直線性は図 6 の光パワーの重ね合わせ法で校正する。光スイッチ SW1 と SW2 を用いて光パワーを等しく設定すると、両 SW が ON の場合の光パワーは一方だけが ON の場合のパワーの正確に 2 倍になるので、これらに対する指示値より STD の直線性が決定できる。ファイバ用光パワーメータの応答直線性の校正は、2004 年 4 月から依頼試験を開始したが、2005 年度から JCSS による校正も始める予定である。

## 5. 今後の取り組み

表 2 の整備計画に基づいて、順次開発を行い種類と範囲の拡大を進める予定である。また、レーザービーム、光ファイバ計測器に必要な種々のパラメータについて産業界ニーズに応じて新たな開発を行う必要がある。標準が確立されたものについては、産業界へ供給するとともに、国際比較への参加、品質システムの整備などを進め、国際整合性を確保していく方針である。