

## 特定標準器の指定の取り消し並びに特定標準器の指定及び 校正等の実施について（長さ）

### 現在までの経緯

計量法第 134 条第 1 項に規定する特定標準器として、独立行政法人産業技術総合研究所（産総研）が保管する 633 ナノメートルよう素分子吸収線波長安定化ヘリウムネオンレーザ装置が 1993 年（平成 5 年）11 月に指定された。また、特定二次標準器として認められていたのは 633 ナノメートルよう素分子吸収線波長安定化ヘリウムネオンレーザ装置のみであった。

### ニーズの拡大

現在に至る産業界の技術的進歩により、633 ナノメートル安定化レーザ装置に加え、異なった波長域（532 ナノメートル、あるいは 1.5 マイクロメートル帯）のレーザ装置の校正サービスへの要求が出てきた。ある波長のレーザ装置を登録事業者が校正するには、ほぼ同じ波長の特定二次標準器を新設し登録事業者が保持する必要があるが、633 ナノメートル以外の特定二次標準器候補は、従来の特定標準器では校正できなかった。

### 研究の進展

一方、産総研による技術開発により、可視光～近赤外光波長域で正確な波長の校正が切れ目なく可能な光周波数コムの開発に成功し、外部への安定的な標準供給が図れるようになった。

### 今回の提案と想定されるメリット

今回提案する光周波数コムは、従来を完全に含むばかりでなく、新設の両方の特定二次標準器を校正することができる。また不確かさも現在よりはるかに低減されることから、産総研が保管する現在の特定標準器については、計量法第 134 条第 3 項に基づき取り消しを行い（参考資料 1 - 1 参照）、産総研が保管する新しい波長の計量器を特定標準器として指定する（参考資料 1 - 2 参照）。これにより、新しい幅広い産業界ニーズに応える事ができる。

**特定標準器の指定の取り消しについて**  
**(長さ用 633 ナノメートルよう素分子吸収線**  
**波長安定化ヘリウムネオンレーザ装置)**

## **1．背景**

現在、波長の計量器については、独立行政法人産業技術総合研究所が保管する「長さ用 633 ナノメートルよう素分子吸収線波長安定化ヘリウムネオンレーザ装置」が特定標準器に指定されている。

独立行政法人産業技術総合研究所において新たな特定標準器「協定世界時に同期した光コム装置」の開発が進み、波長 500 nm～1684 nm に標準供給範囲を拡大するとともに、不確かさの向上が可能となった。これより、特定標準器「長さ用 633 ナノメートルよう素分子吸収線波長安定化ヘリウムネオンレーザ装置」を取り消し特定標準器「協定世界時に同期した光コム装置」を新設することとする。

## **2．新たに指定する特定標準器**

協定世界時に同期した光コム装置（独立行政法人産業技術総合研究所が保管するもの）

## **3．取り消し予定の特定標準器**

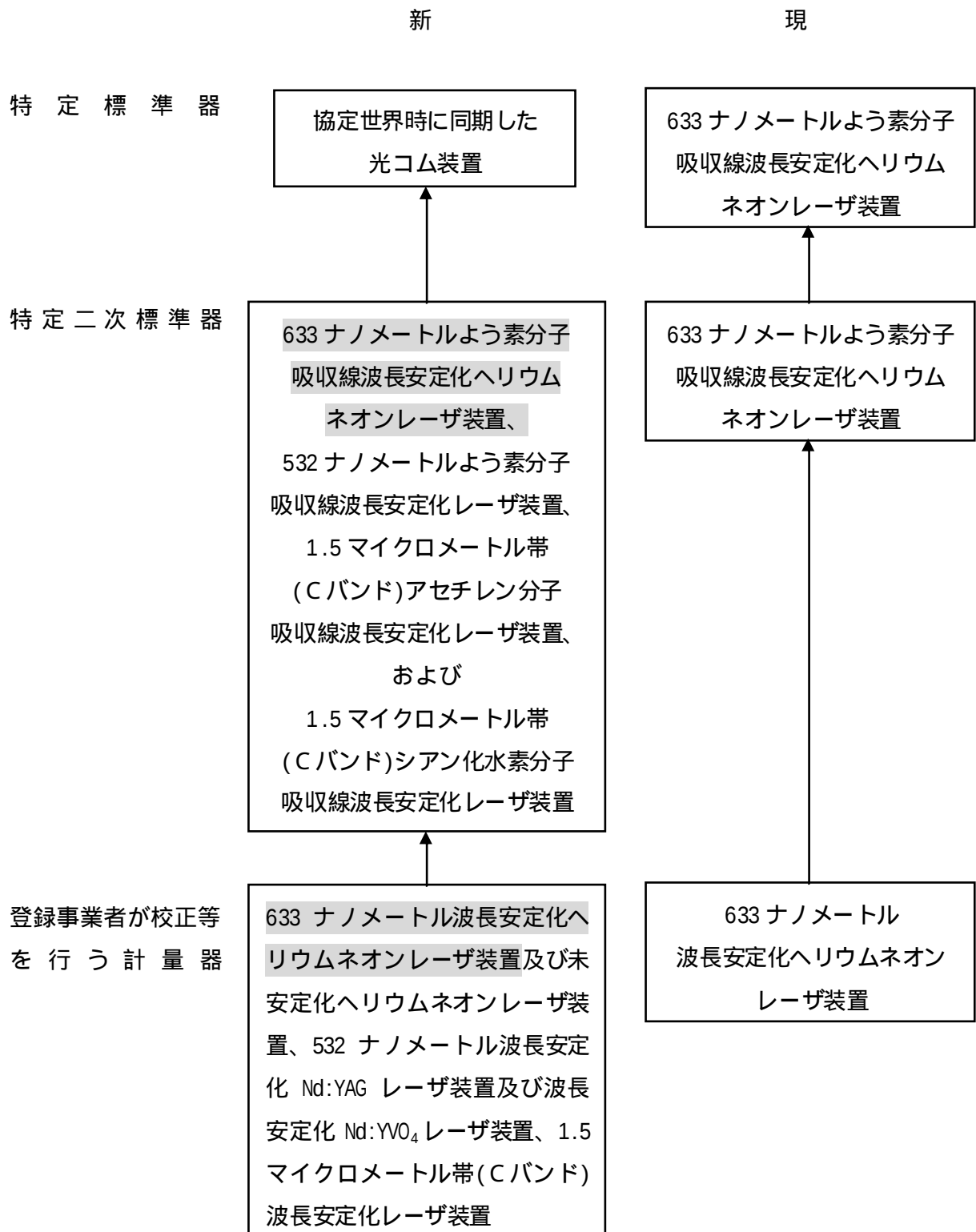
633 ナノメートルよう素分子吸収線波長安定化ヘリウムネオンレーザ装置（独立行政法人産業技術総合研究所が保管するもの）

## **4．新たに指定する特定二次標準器**

532 ナノメートルよう素分子吸収線波長安定化レーザ装置、1.5 マイクロメートル帯(Cバンド)アセチレン分子吸収線波長安定化レーザ装置、および 1.5 マイクロメートル帯(Cバンド)シアン化水素分子吸収線波長安定化レーザ装置

## 5. 計量標準供給体系

下図が新旧計量標準体系の対比である。下図に示すごとく現在の特定二次標準器ならびに登録事業者が校正等を行う計量器は新しい体系でも網がけのように完全に内包されている。



## 特定標準器の指定及び校正等の実施について (協定世界時に同期した光コム装置)

### 1. 背景

1993 年 11 月以来現在に至るまで、長さ区分のトレーサビリティでは長さ用 633 ナノメートルよう素分子吸収線波長安定化ヘリウムネオンレーザ装置が特定標準器として設定されている。一方、国際単位系においてメートルは「光が真空中を 299 792 458 分の 1 秒間に進む距離」と定義されており、レーザの波長を得るためにはそのレーザの光周波数を測定して、 $\text{光の速さ} = \text{光の周波数} \times \text{光の波長}$ の関係式から算出するのが定義に沿った実現である。

しかし光コム技術の確立以前は、光周波数計測の難易度は極めて高く、定義に準拠した形で特定標準器を設定することは現実的ではなかった。そのため CIPM 勧告により便宜的に長さの一次標準器として用いることのできるレーザの一つ「長さ用 633 ナノメートルよう素分子吸収線波長安定化ヘリウムネオンレーザ装置」を特定標準器として設定してきたものである。

その後光コムが登場し、周波数標準に基づいた光周波数計測が現実的なものとなった。光コムは可視～近赤外の任意の波長帯において周波数計測を行うことが可能である。産総研では実用的な光コムを目指した研究を早くから行ってきた。その結果、多くの波長に対して信頼性の高い光周波数計測を行うことが可能となった。今回特定標準器として新設を提案する「協定世界時<sup>\*</sup>に同期した光コム装置」を 633 ナノメートルよう素分子吸収線波長安定化ヘリウムネオンレーザ装置と比較すると、周波数測定の不確かさは三百分の一であり、装置の寿命および堅牢性など実用面においても凌駕しつつある。

一方で、光通信の高密度波長多重化など近年の技術的進歩により、633 ナノメートルよう素分子吸収線波長安定化ヘリウムネオンレーザ装置以外のレーザ装置（例えば光通信用計測器の波長校正に用いられる 1.5 マイクロメートル帯(Cバンド)シアン化水素分子吸収線波長安定化レーザ装置など)を特定二次標準器として特定標準器による校正を受け、同様の波長領域での校正サービスを開始したいという要望が産業界から上がっていた。光コムは可視全域から波長 2 マイクロメートルのレーザまで協定世界時と同じ不確かさで校正することができ、これまで特定標準器で校正できなかった波長のレーザが校正可能になる。現時点で光コムを特定標準器にすれば、登録事業者は現在より 30%増えると予想される。また、特定二次標準器へのニーズが今後異なっ

た波長へ拡大してもスムーズに対応できる。

これらの状況を考慮し、特定標準器を「長さ用 633 ナノメートルよう素分子吸収線波長安定化ヘリウムネオンレーザ装置」から「協定世界時に同期した光コム装置」に変更し、光周波数（波長）の校正をすべて光コムによる方法に統合することが妥当であると判断した。

\*)協定世界時（UTC）とは、メートル条約に加盟している世界各国の標準研究機関など約 60 機関で連続稼働している原子時計約 300 台の相互比較結果ならびに数機関の一次周波数標準器の評価結果を元に計算される国際原子時（TAI）に対してうるう秒調整（うるう秒の実施に関しては IERS が責任を有する）を実施して世界時（UT1）との差が 0.9 秒以内に維持されている時系。

各国の標準時の基準となると共に、時間周波数標準分野における基幹比較基準値として用いられる。TAI、UTC の計算は国際度量衡局（BIPM）が実施し、UTC と各標準研究機関で維持している UTC(k)の差の情報などが毎月 BIPM より公表される。

## 2．指定予定の特定標準器

協定世界時に同期した光コム装置

## 3．特定標準器の概要

### （1）光コムによる光周波数計測

光コムはモード同期レーザの出力であり、光パルスの時間幅が 100 フェムト秒以下の超短光パルス列である。その光スペクトラムを観察すると広帯域に広がっており、細部を観察すると図 1 に示すように、光パルス列の繰り返し周波数（ $f_{\text{rep}}$ ）と等しい周波数間隔に並んでいる。仮想的に光コムを低周波数側に拡張したとき、ゼロ周波数に一番近い周波数はオフセット周波数（ $f_{\text{ceo}}$ ）と呼ばれる。

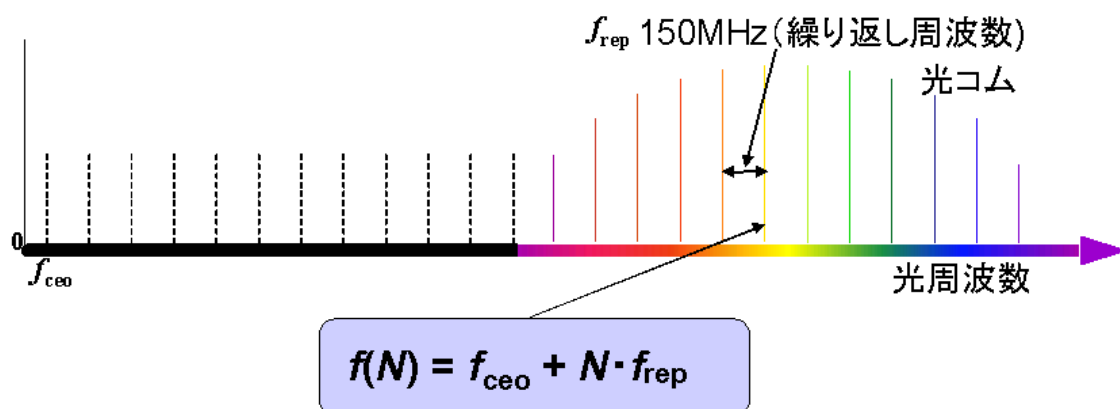


図 1 光周波数コムを用いた光周波数測定の周波数軸上での概念図



#### 4．計量法第135条第1項に基づく校正実施機関

独立行政法人産業技術総合研究所

#### 5．特定二次標準器

(1) 以下の波長安定化レーザ。

- ・ 633 ナノメートルよう素分子吸収線波長安定化ヘリウムネオンレーザ装置
- ・ 532 ナノメートルよう素分子吸収線波長安定化レーザ装置
- ・ 1.5 マイクロメートル帯(Cバンド)アセチレン分子吸収線波長安定化レーザ装置
- ・ 1.5 マイクロメートル帯(Cバンド)シアン化水素分子吸収線波長安定化レーザ装置

(2) 特定二次標準器の具備条件

(a) 発振波長及び波長安定化の方法

(1)に記した波長安定化レーザのいずれかであること。

(b) 発振モード

単一周波数発振レーザであり、ビート周波数が測定可能な程度の狭いスペクトル線幅であること。

(c) 周波数安定度

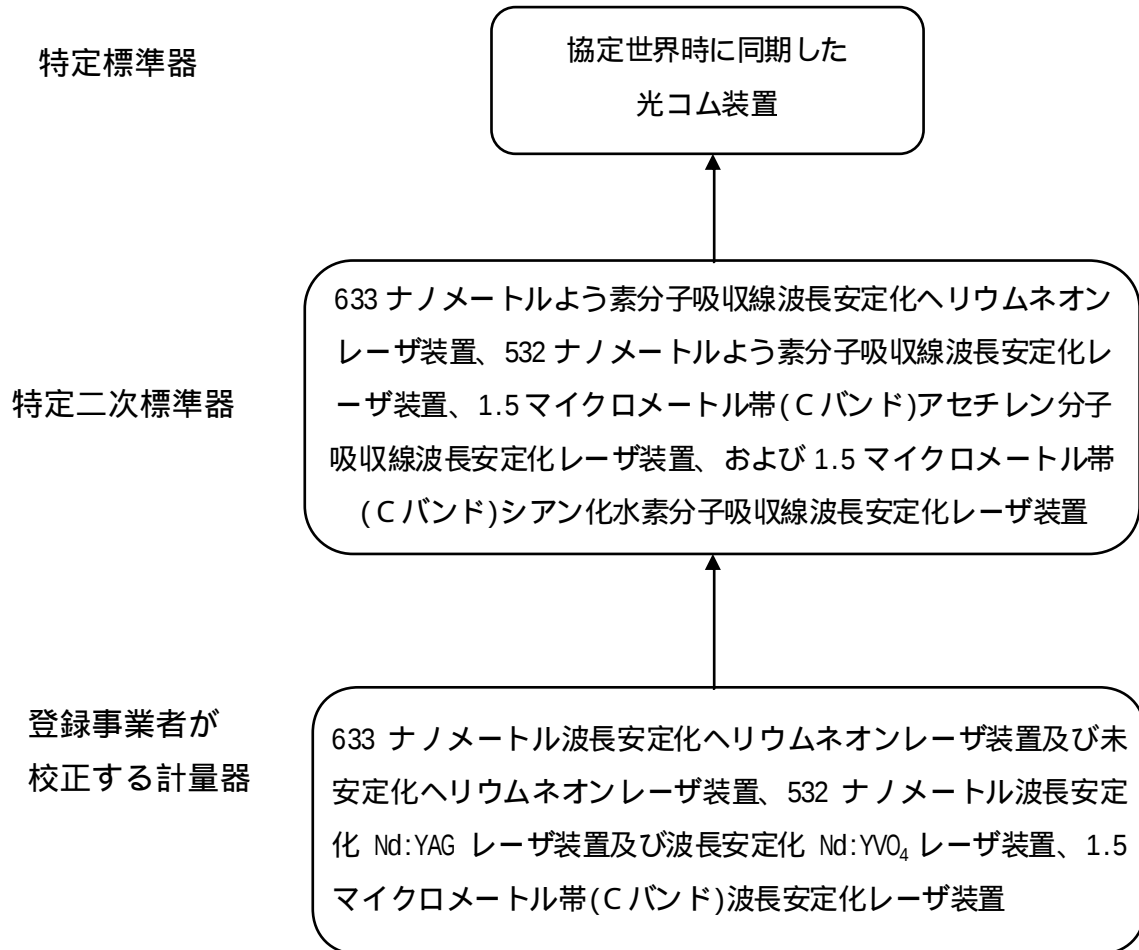
(1)に掲げた波長安定化レーザとして正常な周波数安定度であること。

(3) 特定標準器による校正等の期間(校正等の周期)

三年、ただし、633 ナノメートルよう素分子吸収線波長安定化ヘリウムネオンレーザ装置であり、登録事業者が複数台保有している場合は五年

## 6. トレーサビリティの体系図及び測定の不確かさ

### (1) トレーサビリティの体系図



### (2) 測定の不確かさ

特定標準器による校正等における測定の相対拡張不確かさ ( $k = 2$ ) は、

$1.4 \times 10^{-13}$  を予定している。

登録事業者が行う校正における測定の相対拡張不確かさ ( $k = 2$ ) は、633 ナノメ

ートル波長帯においては  $4.2 \times 10^{-11}$ 、532 ナノメートル波長帯においては  $1.8 \times$

$10^{-11}$ 、1.5 マイクロメートル帯 (C バンド) においては  $10^{-4} \sim 10^{-11}$  を想定している。

### (3) 参考

特定標準器による校正等における現状の相対拡張不確かさ ( $k = 2$ ) は、 $4.2 \times 10^{-11}$  である。