

# 【豆知識】長度追溯系統-原級標準光梳裝置簡介

MTW-230020C

2023年12月發行

## ■ 前言

很多廠商都會詢問自己生產的產品是否是依照設計值製作的。三豐 ( Mitutoyo ) 評估並保證其品質，提供對產品品質保證至關重要的測量設備，確保與國家標準相關的可追溯系統，並為使用者提供校正。

日本目前的長度國家標準是產業技術綜合研究所 ( AIST ) 擁有的“與協調世界時間同步的原子鐘和光頻率梳裝置 ( 以下簡稱光梳裝置 )”。不確定度比之前國家標準的 He-Ne 雷射小很多，由此可以說，光梳是一項有助於發展長度標準技術和確保溯源的創新技術。

迄今為止，三豐 ( Mitutoyo ) 與 AIST 共同開發了採用與國家標準相近的光梳裝置的雷射頻率校正系統，致力於進一步提升內部標準的可靠性並確保高效率的可追溯系統。2017年，三豐 ( Mitutoyo ) 成為第一家取得 JCSS 認證的公司，可使用光梳設備進行雷射波長 ( 頻率 ) 校正。

## ■ 長度標準與追溯源

### (1) 米的定義及標準實施方法

目前，1 米是光速  $c$  與時間的物理常數 (  $=1/299\,792\,458\text{ s}$  ) 的乘積  $c \cdot t$  定義。作為實現更精確長度的手段，光速  $c$ 、波長和頻率  $\nu$  之間的關係用於穩定雷射真空波長的頻率。

$$\lambda = c \cdot (1/\nu) \quad \text{式 (1)}$$

作為長度標準的典型雷射是波長為 633 nm 的 He-Ne 雷射。直到 2009 年 7 月，它一直被作為日本長度的國家標準。其不確定度為  $4.2 \times 10^{-11}$  (  $k=2$  )，至今仍被民間企業作為標準器。

### (2) 光梳裝置

光梳是具有非常相等的模式間距  $f_{rep}$  的雷射器。絕對頻率可用  $f_{rep}$  表示， $f_{mp}$  虛擬擴展到零頻域時的餘數  $f_{CEO}$ ，模階  $N$ 。因此，通過測量被測雷射器干涉產生的差頻  $f_{beat}$ ，識別模階  $N$ ，代入  $f_{rep}$  和  $f_{CEO}$ ，即可測得被測雷射器的絕對頻率  $\nu_{laser}$ 。

$$\nu_{laser} = N \cdot f_{rep} + f_{CEO} + f_{beat} \quad \text{式 (3)}$$

擁有光梳裝置的 AIST 作為特定長度標準 ( 國家標準 ) 提供雷射校正服務，不確定度為  $1.4 \times 10^{-14}$  (  $k=2$  )。

### (3) 追溯系統

日本有 JCSS (日本校正服務體系: Japan Calibration Service System) · 如果該公司被認定為符合 JCSS 並取得認證, 則可以提供可溯源至國家標準的校正服務。取得 JCSS 登錄機構可作為內部標準的特定二級標準器, 必須定期進行使用特定標準器(國家標準)校正。

例如, 對於雷射器, 只有透過與指定的二級標準器和同等級雷射進行比較評估來確認其性能, 校正週期才可以延長至五年。因此, JCSS 登錄機構就被賦予嚴格管理其校正設備之義務。

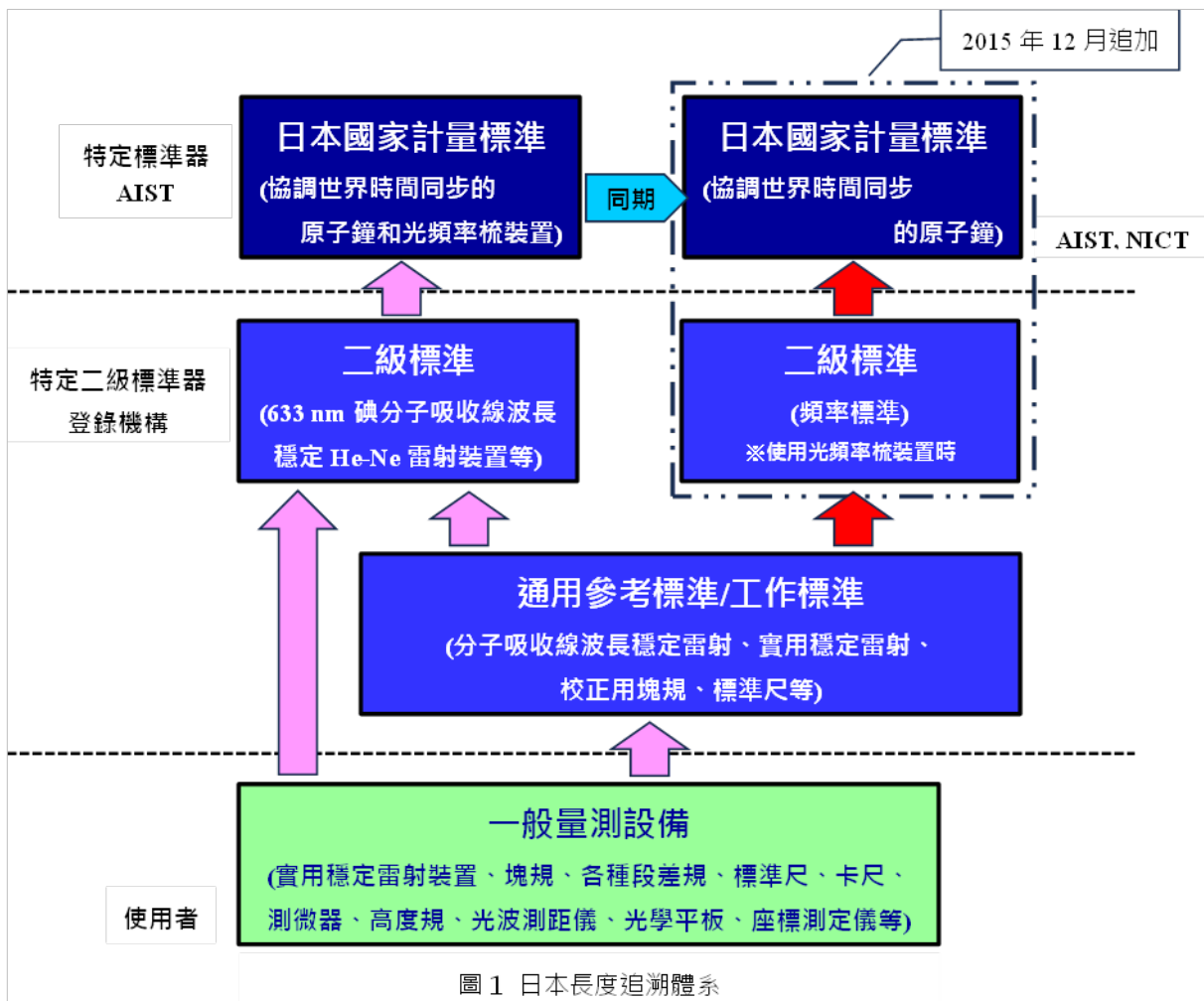
### (4) 追加長度追溯系統

光梳的應用研究正在頻率標準、光譜測量和幾何測量等各個領域進行。工業應用之一是用於 JCSS 波長校正。透過與 AIST 的聯合研究, 開發了一種光梳裝置, 即使在 AIST 之外也可以校正, 並可追溯至國家標準的雷射波長。根據本研究的結果和三豐 (Mitutoyo) 的要求, 該方法於 2015 年 12 月已被新增至 JCSS 長度可追溯性。

目前日本長度追溯系統如圖 1 所示。在先前的系統中, 確定長度的唯一二級標準是由與國家頻率標準 UTC (NMIJ) 同步的光梳裝置校正的分子吸收線波長穩定雷射。在增加的追溯系統下, 只有當作為 JCSS 登錄機構使用光梳設備時, 頻率標準也將成為特定長度的二級標準器。該系統使用頻率標準作為參考裝置, 並使用光梳裝置來校正較低一級的雷射參考裝置。

兩個系統的標準追溯源是相同的國家頻率標準。此外, 新增的系統是一個簡單的系統, 因為用於測量雷射頻率的參考設備是頻率標準設備, 可追溯至國家頻率標準。

三豐 (Mitutoyo) 基於此新增系統開始使用的長度追溯系統如圖 2 所示。採用國家頻率標準 UTC (NMIJ) 校正的頻率標準器作為指定的二級標準器, 採用光梳裝置對常用的參考標準雷射進行校正。三豐 (Mitutoyo) 還將較低一級的標準和測量儀器連結到校正鏈中, 確保提供使用者的許多產品的可追溯性。使用光梳裝置進行雷射的 JCSS 校正時, 向 NITE (獨立行政法人製品評價技術基盤機構) 提出申請, 並接受 AIST 的技能審查。其結果, 被認證為具有校準雷射頻率的能力, 不確定度為  $1.1 \times 10^{-13}$  ( $k=2$ , 1 日平均時)。



## (5) 使用光梳設備的優點

以下介紹使用光梳設備的三個優點。

### (1) 不移動式的定位校正

頻率標準器每天都會進行遠端校正，因此與雷射不同，無需將它們移動式校正。因此，運輸過程中不存在損壞或頻率波動的風險。還可以監控由於老化或故障而導致的頻率波動。

### (2) 不確定度小

因為頻率標準器的不確定度小於分子吸收線的不確定度，光梳裝置是一種具有不確定度較小的參考的量測裝置。

### (3) 用一台設備管理多種波長標準

光梳透過與波長轉換技術結合，可以在可見光到近紅外線區域內振盪。因此，作為多波長雷射的標準，可透過一台設備集中管理可追溯性。

於Mitutoyo(日本)內建立與國家標準同等技術的裝置

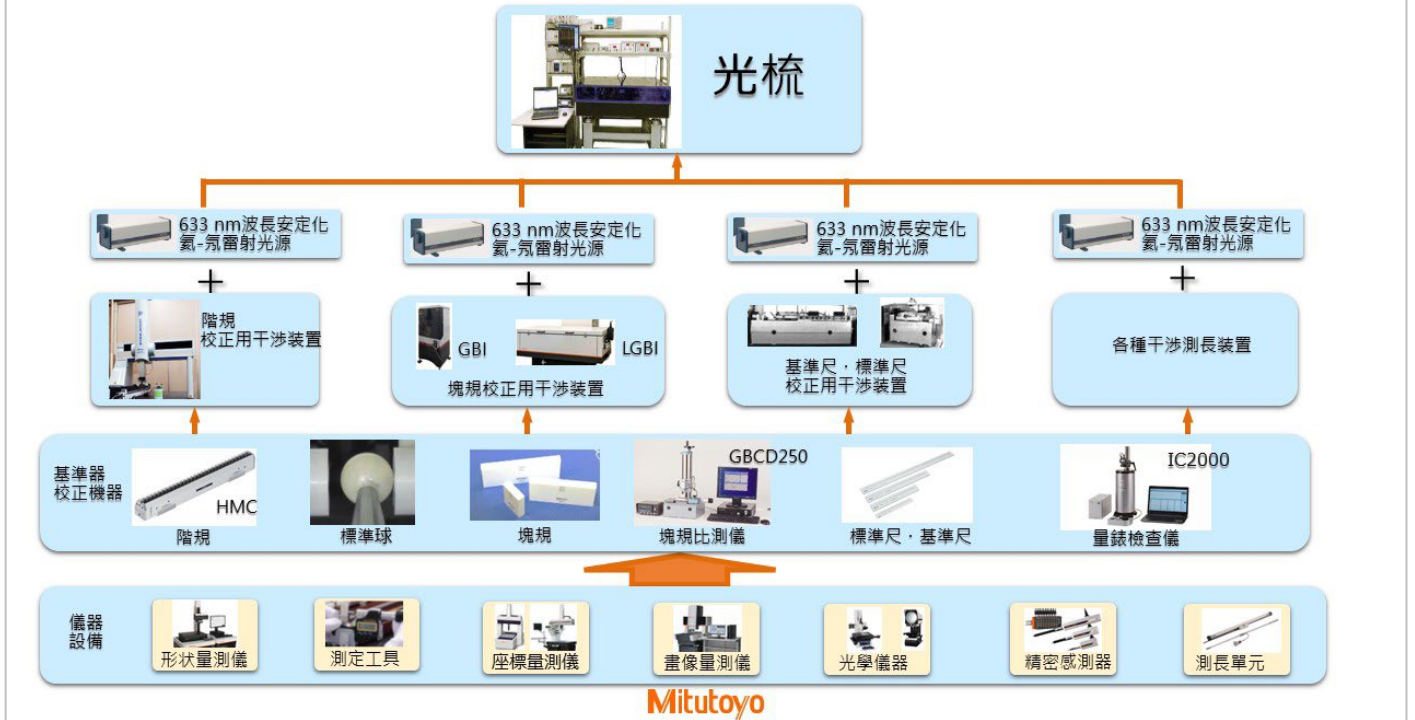
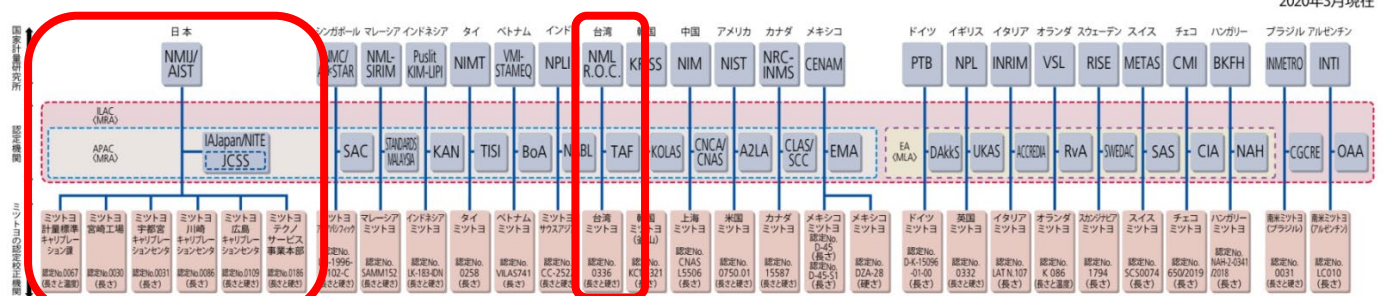


圖 2 三豐 (Mitutoyo) 集團長度追溯體系圖

## 三豐集團校正實驗室 ISO/IEC17025 認證狀況



註 1. JCSS (Japan calibration service system,日本校正服務體系)

註 2. TAF(Taiwan Accreditation Foundation, 財團法人全國認證基金會)

註 3.日本的認證機構 JCSS 等同於台灣之 TAF

圖 3 Mitutoyo 集團世界各地認證情況及認可單位