

量子標準体系の高度化に関する研究

I 試験研究の全体計画

1. 研究の趣旨

新素材分野、超精密加工分野における技術革新に裏打ちされた量子エレクトロニクスや原子物理学の進歩により、さらに高度で精度の高い標準技術と新たな利用技術の展開が求められている。現在の単位系では基礎的な標準は相互に密接な関係を有している。光周波数標準は時間・周波数標準と表裏一体であり、時間標準の高度化は直接光周波数標準の高度化につながる。時間・周波数標準は、ジョセフソン効果に基づく電圧標準の基準を与えており、光周波数標準は長さ標準の基準を与えるなど、他の標準の設定にも必要とされる。従って、ユーザーが使いやすいものにするのが重要であり、新しいアイデアや先端のデバイスを入れた研究開発が必要である。この研究開発により、お互いの標準の高精度化につながるという相乗効果が生まれる。また、高エネルギーフォトン量子標準は未整備エネルギー領域の新しいフォトン量子標準として期待されていると共に、新たに核内のエネルギーレベルや核反応断面積に関する基礎定数を与えてくれる。しかし、そこで使用するレーザーの周波数や測定の精度を決定する要因である時間間隔などは、光周波数標準や時間・周波数標準にトレーサブルでなければならない。従って、このような量子標準相互の技術的な結合を図ることにより、より高精度で整合性のとれた標準体系を構築し、メートル条約の単位系の確立に資すると共に、科学技術開発のための知的基盤を整備することが必要となっている。

前期の目標は、① 10^{-15} ~ 10^{-16} の高精度時間標準器の開発、信頼性の評価技術の確立②光領域の周波数計測システムの開発③ γ 線領域の標準場発生技術の開発。である。

後期の目標は、①高精度時間標準器を用いた時間周波数標準の高度化、高信頼化②高精度標準信号を用いた光領域の絶対周波数計測の実現③高精度標準信号を用いた γ 線領域の標準場発生の安定化の実現。である。

本研究課題では、量子標準体系の高度化に資するために、最も基本的な量子標準の確立と高精度化、さらにそれらの利用技術の高度化を目指し、以下の研究を行う。

(1) 超高精度なセシウム時間・周波数標準器を開発し、それらを相互に比較するための技術開発を行う。後期においては、前期の成果をふまえてシステムとして完成させ、精度評価、相互比較、実証実験を行う。

(2) セシウム時間・周波数標準器を用いて、光の絶対周波数を測定するための要素技術の開発を行う。後期において

高効率化とシステム化を行い、光周波数の測定実験を行う。

(3) 高エネルギーフォトン量子標準場を開発するための要素技術開発を行う。第Ⅱ期においては、システム化して標準場を実現し、量子標準体系との整合性の確保のための研究を行う。

2. 研究概要

先端的科学技術の研究開発に必要な標準計測技術を提供し、また高度な製品の開発や通信・情報等の産業界の発展に寄与する、国際的に最も正確で安定度の優れた量子標準体系の基盤を整備するための研究開発を実施する。

1. 時間・周波数標準の高度化に関する研究

超高精度時間・周波数標準器を実現するための研究と、標準器の性能評価や時系の比較のための高精度な時刻比較法の研究を行う。

(1) 高精度時間・周波数標準器の研究

10^{-15} ~ 10^{-16} 台の正確さを目指した高精度標準器を開発・整備し、その精度評価を行うと共に、そのレベルでの計測技術に関する研究を行う。このような高精度の標準器の評価には、複数の同程度の標準器を相互に比較することが必要である。更に、独自に異なる技術によって開発された標準器を、異なる環境において動作させて比較することが重要である。このような条件を満たすために、計量研究所、通信総合研究所において原子泉型標準器及び高安定型標準器を開発する。

(2) 高精度時刻比較法の研究

衛星双方向高精度時刻比較、GPSやGLONASS等の測地衛星を用いた高精度周波数/時刻比較に関する研究を国内、国際機関間で実施してそのシステムの構築を行い、国内の周波数標準器を 10^{-15} 以上の高精度で比較するための基盤整備、並びに、国際的貢献(国際原子時(TAI)や協定世界時(UTC)の精度向上)のための整備を行う。

2. 光領域の絶対周波数計測に関する研究

光の絶対周波数を決定するため、近年進展の著しい光パラメトリック発振器や光コム発生器などを用いた光周波数計測技術の高性能化をはかり、システム化を行って光周波数絶対測定装置の開発を行う。上記の目的のため、光パラメトリック発振器等に必要なとされる非線形光学結晶の波長変換効率の高効率化を行うとともに、光ファイバ増幅器、導波路型変調器等を利用した新しい方式の光周波数コム発生技術を開発する。

(1) 光周波数計測システムの研究

光の絶対周波数を 10^{-13} 以上の精度で決定するための技術の開発を進める。特に、近年進展の著しい光パラメトリック発振器や光コム発生器などを用いた光周波数計測技術の開発と高性能化を進め、光周波数絶対測定装置のシステム化をはかる。

(2) 光周波数変換用光学結晶の高性能化

光周波数計測システムの高度化を図るために、光パラメトリック発振器等に必要とされる非線形光学結晶の波長変換効率の高効率化を行う。同時に、波長変換素子として使用できる波長域の広帯域化を目指す。

(3) 光周波数計測用デバイスの研究

光の絶対周波数計測システムの確立をめざして、新しい

方式の光周波数コム発生技術を開発する。光ファイバ増幅器、導波路型変調器等の利用により、周波数スパン 3THz 以上の広帯域コム発生デバイスを実現し、その高性能化をはかる。

3. 高エネルギーフォトン量子標準に関する研究

まだ標準が確立されていない、2 MeV から 20 MeV の範囲の高エネルギーフォトン量子標準を確立するために必要な、発生技術、計測技術および校正技術についての研究を行う。特に、量子発生量の増加技術、パルスビーム固有の検出器信号パイラップ抑制技術や細いビームを用いた校正技術に関する各要素技術を研究し、標準場開発のための基盤技術を確立する。

3. 年次計画

| 研究項目 | 10年度 | 11年度 | 12年度 | 13年度 | 14年度 | |
|----------------------------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|---------------|--------------|---------|
| 1. 時間・周波数標準の高度化に関する研究 (1) 高精度時間・周波数標準器の研究 | | 原子泉型標準器の開発・整備 | | | | |
| | | | | 単独精度評価 | | |
| | | 高安定型標準器の開発・整備 | | | | |
| | | | | 単独精度評価 | | |
| | | | | 相互比較実験 | | |
| | | 評価技術の高度化 | | 評価技術の実証 | | |
| | | | | | 評価・まとめ | |
| | (2) 高精度時刻比較法の研究 | | 測地衛星による時刻比較システムの高度化 | | | |
| | | | | | 実証実験 | |
| | | | | 衛星双方向国内比較実験 | | |
| | | 高性能衛星双方向時刻比較装置の開発 | | 衛星地球局の改造と実証実験 | | |
| | | | 衛星双方向国際比較実験 | | | |
| | | | | | 評価・まとめ | |
| 2. 光領域の絶対周波数計測に関する研究 (1) 光周波数計測システムの研究 | | システム化技術の開発 | | システムの開発 | | |
| | | | | 光周波数の測定実験 | | |
| | | | | | 評価・まとめ | |
| | (2) 光周波数変換用光学結晶の高性能化 | | 高効率化の研究 | | 広帯域化・高効率化の研究 | |
| | | | | | | 評価・まとめ |
| | | | デバイスの開発 | | 高性能化と応用技術の開発 | |
| | (3) 光周波数計測用デバイスの研究 | | | | | 評価・まとめ |
| | | 3. 高エネルギーフォトン量子標準に関する研究 | 発生技術の開発 | | 校正技術の開発 | |
| | | | | 計測技術の開発 | | システムの開発 |
| | | | | | 評価・まとめ | |
| 4. 研究運営 | | | | | | |
| 所要経費(合計) | 215百万円 | 204百万円 | 209百万円 | | | |

II 平成12年度における実施体制

| 研究項目 | 担当機関 | 研究担当者 |
|--------------------------|---------------------|-------|
| 1. 時間・周波数標準の高度化に関する研究 | | |
| (1) 高精度時間・周波数標準器の研究 | | |
| ① 原子泉型時間・周波数標準器の開発に関する研究 | 通商産業省工業技術院計量研究所 | 大嶋新一 |
| ② 高安定型時間・周波数標準器の開発に関する研究 | 郵政省通信総合研究所 | 森川容雄 |
| ③ 冷却原子の特性に関する研究 | 山口東京理科大学 | 清水忠雄 |
| ④ マイクロ波回路技術の高度化に関する研究 | 近畿大学 | 中桐紘治 |
| ⑤ 参照用発振器の開発に関する研究 | アンリツ(株) | 津田正宏 |
| (2) 高精度時刻比較法の研究 | | |
| ① 測地衛星による時刻比較法に関する研究 | 通商産業省工業技術院計量研究所 | 中段和宏 |
| ② 衛星双方向時刻比較法に関する研究 | 郵政省通信総合研究所 | 今江理人 |
| 2. 光領域の絶対周波数計測に関する研究 | | |
| (1) 光周波数計測システムの研究 | 通商産業省工業技術院計量研究所 | 池上健 |
| (2) 光周波数変換用光学結晶の高性能化 | 科学技術庁無機材質研究所 | 北村健二 |
| (3) 光周波数計測用デバイスの研究 | 通商産業省工業技術院電子技術総合研究所 | 土田英実 |
| 3. 高エネルギーフォトン量子標準に関する研究 | 通商産業省工業技術院電子技術総合研究所 | 工藤勝久 |
| 4. 研究運営 | 通商産業省工業技術院計量研究所 | 松本弘一 |

III 運営委員会

| 委員 | 所 | 属 |
|-------|----------|--------------------------------------|
| ○松本弘一 | 通商産業省 | 工業技術院計量研究所量子部長 |
| 池上健 | 通商産業省 | 工業技術院計量研究所量子部量子標準研究室主任研究官 |
| 今江理人 | 郵政省 | 通信総合研究所標準計測部時空計測研究室長 |
| 大嶋新一 | 通商産業省 | 工業技術院計量研究所量子部量子標準研究室長 |
| 北村健二 | 科学技術庁 | 無機材質研究所第13研究グループ総合研究官 |
| 工藤勝久 | 通商産業省 | 工業技術院電子技術総合研究所量子放射部ニュートロン・アイ・ラボ・リーダー |
| 清水忠雄 | 山口東京理科大学 | 電子基礎工学科教授 |
| 津田正宏 | アンリツ(株) | 厚木事業所研究所開発部長 |
| 土田英実 | 通商産業省 | 工業技術院電子技術総合研究所光技術部創造フォトリソ・ラボ・リーダー |
| 中桐紘治 | 近畿大学 | 生物理工学部電子システム情報工学科教授 |
| 中段和宏 | 通商産業省 | 工業技術院計量研究所量子部主任研究官 |
| 森川容雄 | 郵政省 | 通信総合研究所標準計測部長 |

(注：○は運営委員長)