

電気電子工学委員会 URSI 分科会 電磁波計測小委員会  
(略称：A 小委員会) (第 24 期・第 1 回)

議事録

日 時： 平成 30 年 5 月 8 日 (火) 13:00～15:00  
会 場： 日本学術会議 6 階 6-C (1) 会議室  
議 題：

- (1) 役員 (委員長、副委員長、幹事) の選出
- (2) 新委員の自己紹介
- (3) 研究紹介 (蜂須委員)  
「光時計を用いた時系実信号の生成と国際原子時の評価 (含、研究室紹介)」
- (4) 各委員の活動報告  
資料 1: 活動報告 (安田)  
資料 2: 活動報告 (杉山)  
資料 3: 活動報告 (小山)
- (5) 今後の活動方針
- (6) その他

・出席者 (敬称略) (11 名/16 名)

小山泰弘・蜂須英和<sup>(1)</sup>・藤井勝巳・細川瑞彦(NICT)、洪鋒雷 (横国大)、五箇繁善 (首都大)、杉山和彦 (京大)、高本将男 (理研)、中川賢一・武者満 (電通大)、安田正美 (産総研)

・議場委任 (敬称略) (4 名)

黒川悟・堀部雅弘・鈴山智也<sup>(2)</sup>・柳町真也<sup>(3)</sup> (産総研)

・欠席 (敬称略) (1 名)

高橋富士信 (横国大)

(1) 新委員 (梶田雅稔委員より引継ぎ)

(2) 新委員 (雨宮正樹委員より引継ぎ)

(3) 新委員 (池上健委員より引継ぎ)

## 議事詳細

### (1) 役員（委員長、副委員長、幹事）の選出

武者前委員長より委員長選出の発議があった。事前のメール審議の通り、安田委員が第24期委員長候補として紹介され、出席委員の全会一致で承認された。

【注意】小委員会終了後、日本学術会議事務局の柳原氏より、「委員会では、委員長のみならず、副委員長1名、幹事2名を、(基本的には)選出することとなっている。」との指摘があった。武者前委員長より、「前期は、委員長1名のみが選出されていた。」との事実確認があったが、柳原氏より、できれば規則に従っていただきたい旨、返答があった。想定される今後の対応は以下の通り。

①メール審議等により、「副委員長と幹事を選出すべきか否か」を決定する。

②選出すべきと決まった場合、メール審議等による事前調整の上、委員長が、副委員長と幹事を指名する。

③第2回の小委員会（対面会議）にて、副委員長と幹事の選出を行う。

(③について、メール審議でも良いか？(小山委員コメント)→要確認)

(2)(3) 当日出席の新委員は蜂須委員のみだったので、自己紹介と研究紹介をまとめて行った。

NICT(全国に拠点がある) > 時空標準研究室(ACES 説明。NMIJ, UT と共同。アジアで唯一 NICT に地上局) > 周波数標準研究グループ(Cs-F, THz comb, CSAC, Opt. Freq. Stand. Sr-OLC, In+) の紹介。「光時計を用いた時系実信号の生成と国際原子時の評価」と題した研究発表が行われた。1台のSr光格子時計を定期的に運転することにより、18台のCs原子時計に代わって原振の水素メーザーの周波数を調整し、実信号時系TA(Sr)を生成した。生成した5ヶ月の間TT(BIPM16)からの時刻差は2nsに収まった。また、Sr光格子時計を用いたTAIのscale intervalの評価を半年間行い、PTBやSYRTEのCs一次周波数標準の校正と整合性のある評価が得られることを実証した。

(洪委員質問) ACES の状況は？(蜂須委員回答) 2018年3月にACES地球局がNICTにインストール、2018年夏頃ACES打ち上げの予定だったが、マイクロ波リンクの開発が遅れた上、実施する会社も変わったそう。現在のところ、地球局のインストールは2019年1月以降、打ち上げは2020年1月の予定とのこと。

(洪委員質問) Sr光格子時計について、①技術的質問: 3-sample variance とは？②全体的質問: Sr光格子時計をうまく利用しつくした大変すばらしい研究である。local時系生成・Sr絶対周波数測定・TAIへの貢献の3つ。全部同じ時期のデータを使用しているか？(蜂須委員回答) ①通常のAllan varianceは隣り合う2つのデータを用いるが、3点を使うものだと線形ドリフトの影響を消

せる。②等間隔データとなるように、使わなかったデータもある。今回は、方法論の検証が主目的。

(洪委員質問)

同じデータを使っているのであれば、SI による NICT-Sr の絶対周波数計測を行うと同時に、逆に NICT-Sr を使って TAI への校正も行うことが、タコが自分の足を食べるようなことにはならないのか？

(細川委員回答) 不確かさに注意し論理をきちんと整理すれば、そうならないようにできる。

#### (4) 各委員の活動報告

まず、小山委員より URSI の動向について報告が行われた。

・XXXIInd URSI General Assembly and Scientific Symposium (GASS2017)が、2017 年の 8 月にカナダ・モントリオールで開催された。この会議は 3 年ごとに開催され、AT-RASC → AP-RASC → GASS の順に、毎年関連会議が開催されることになる。

・URSI 本部役員の選出

President: 安藤真氏 (東工大) が就任 (3 年任期)

Commission A の Vice Chair と Early Career Representative の選出

VC(2017-2020): N. Carvalho 氏 (ポルトガル) 5G 無線通信システム研究

ECR(2017-2020): N. Shoaib 氏 (パキスタン) INRiM 滞在。導波管計測。

Chair は前期 VC の P. Tavella 氏 (2017 年 11 月に BIPM Time Dept. の Director に就任) が就任辞退されたため、小山委員が留任。

ECR(2014-2020) は P. Cruz 氏 (ポルトガル) が継続。現民間企業。メタマテリアル研究。

・GASS2020、GASS2023 開催地の審議

GASS2020: イタリア・ローマ

GASS2023: 札幌 (今回は特別に、2 つ先の場所も決定した。ロビー活動の賜物。本小委員会としても盛り上げていきたい。)

・2<sup>nd</sup> URSI Atlantic Radio Science Conference (AT-RASC 2018) が、2018 年 5 月～6 月に、スペイン領グランカナリアで開催される。日本から遠いため、日本からの登録者数は 31 名 (全登録者数: 522 名)。次回 (2021 年) 開催地は未定。

・2019 URSI Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC 2019) が、2019 年 3 月に、インド・ニューデリーで開催される。2022 年の開催には、オーストラリアと中国が立候補を検討中。

・武者委員

1. 重力波検出用の人工衛星搭載可能な周波数安定化レーザーの開発を行って

いる。波長は、1030nm。周波数雑音は、 $20\text{Hz}/\sqrt{\text{Hz}}@1\text{Hz}$  と、要求より 1 桁悪い程度。主原因は光源の強度雑音。

2. JAXA から、光から安定なマイクロ波を生成することについて、相談を受けた。準天頂衛星への応用。(細川委員質問) すでに、ALMA で行われているのでは？  
(武者委員回答) 衛星搭載可能とするために小型化が必要。

・細川委員 (当日配布資料あり)

#### 1. IAU 関連会議

IAU GA2018 が 2018 年 8 月にウィーンで開催される。議題は、Future of UTC (うるう秒)、CCTF report, TT(BIPM), Pulsar time scale (TT 並みに良いらしい) などが議題の予定。

#### 2. NICT 関連の最近の報道発表から：

- ・世界初の実用型「マルチパラメータ・フェーズドアレイ気象レーダ」を開発・設置。偏波も含めた利用により、雨粒の形 (変形) もわかる。

- ・原子時計をスマートフォンに搭載できるくらいの超小型システムへ。圧電薄膜 (FBAR) で、直接原子共鳴周波数 (Rb) 発生、電子回路簡略化、独自の周波数ロック法 (共鳴から大きくずれていてもロック可能)、小型化、省電力化を視野に入れつつ、市販製品 (30 万円から 90 万円に値上げ。歩留まり (30%) の影響らしい) より一桁上の安定度。

- ・地デジ放送波を使った水蒸気量推定手法の試験観測を板橋区でスタート。湿度変化による 10ps 程度のパルス遅延を測定する。

- ・テラヘルツ波の精密な高周波電力測定を実現。詳細は藤井委員より。

- ・光格子時計を利用した高精度は時刻標準の生成に成功。詳細は蜂須委員より。

#### 3. 時間学会 特別講演会

6/10 10:00~ 千葉大学にて 「世界の標準時と原子時計最先端」

・藤井委員

1. ループアンテナ電界標準：30MHz 以下の JCSS 校正サービス開始。通信ではなく、ワイヤレス給電などのニーズに対応。産総研と共同で研究開発を進めてきた。

2. THz 電力標準：THz と称しているが、実態は、220GHz~330GHz の帯域であり、導波管の基本モードの帯域で決まる周波数範囲。これまでは、170GHz までだった。産総研と共同研究による成果。カロリメータ方式であるため熱変換の評価に苦労した。170GHz~220GHz は空白なので、これから開発を行う。

(細川委員コメント) 黒川委員 (産総研) に感謝する。

・蜂須委員

1. 日本標準時の信頼性向上（リスク分散）のために、副局の構築。時の記念日である、6/10 から運用開始。
2. Sr 光格子時計による時系発生について。Sci. Rep. 8, 4243 (2018)に掲載。
3. Yb 光格子時計(KRISS)と周波数比を測定。12時間で $5.8 \times 10^{-16}$ 。IEEE UFFC にアクセプト済み。
4. In<sup>+</sup>単一イオン光時計。 $5 \times 10^{-15}$ の不確かさで絶対周波数測定。CCTF に報告し、推奨周波数値の更新に貢献した。Opt. Express にて発表。
5. THz 周波数標準の量子標準化のために、CO 分子の吸収線を利用。光源は量子カスケードレーザー(QCL)（周波数：3THz）で、CO 分子の吸収線を網羅したレーザー周波数可変に成功。
6. VLBI について。昨年度は可搬型アンテナを産総研に設置し、測定を行った。今年度は、イタリアの国立天体物理学研究所(INAF)に移動。その目的は、そこを經由して、INRiM の Yb 光格子時計とリンクすること。
7. 分子分光理論研究（梶田前委員）。基礎物理定数の恒常性検証。（中川委員コメント）海外（イタリア？）のラボで、HD の近赤外帯の overtone 分光がなされているはず。実験的な分子イオン分光は盛んなのか？（蜂須委員回答）イタリアのグループについては分からないが、梶田前委員のアイデアをもとにしていくつか実験が行われているらしい。

N<sub>2</sub><sup>+</sup>イオン： スイスの Basel 大学 (v, N)=(0, 0)–(1, 2)を観測

イギリス Sussex 大学

O<sub>2</sub><sup>+</sup>イオン： PTB 検討 装置開発中

Amherst U. O<sub>2</sub><sup>+</sup>トラップには成功

CaH<sup>+</sup>イオン： NIST

SrH<sup>+</sup>イオン： パリ？

TeH<sup>+</sup>イオン： North Western U.

HD<sup>+</sup>イオン： Duesseldorf と Amsterdam

梶田さんが提案する前から行っていたが有用には見えないそうです。

中性分子,

CaF： Imperial college レーザー冷却成功 分光検討

パリ 13 大学

Harvard

レーザー冷却+光トラップに成功 ただし精密計測には興味なさそう

・中川委員

・武者委員と共同で、光周波数コムを用いた分子分光・原子分光を行っている。高繰り返しコムによる分光 ( $10^{-11} \sim 10^{-12}$  の精度)。

・リドベルグ状態 Rb 原子の精密分光。  $10^{-10}$  くらいの精度で、数十本のラインを観測した。従来のドイツでの測定よりも 1 桁良い精度。しかし、電場の影響が大きいので、標準というよりも、マイクロ波帯のセンサ応用が期待できるか。  
2 光子吸収による可視域分光。

・冷却リドベルグ状態 Rb 原子によるエンタングルメント生成→量子シミュレーションへの応用。まだ確認中だが、最大で、10 個の原子で相関を持たせた。→原子時計の感度向上につながる。(Heisenberg-limited measurement)

・原子干渉計による重力加速度測定。(予算申請中) → (細川委員質問) プリズムを自由落下させる従来の絶対重力計と比較したときの優位性は？精度か？コンパクトさか？→ (中川委員回答) まずは、精度向上。今は、 $2 \times 10^{-9}$  だが、原子干渉計では、 $10^{-10}$  にできる。小型化も目指す。慣性誘導・ジャイロとしてのニーズがある (少しキナ臭い話も)

#### ・高本委員

光格子時計の研究開発 (Sr, Yb, Hg, Cd)。現在は、1 8 桁よりも小さな不確かさを達成するために、高次光シフト係数の実験的評価中。→摂動が小さいところでの、1 次の依存性に小さく乗っている高次の効果を評価するので、大量のデータが必要となる結構つらい実験。NICT の光時系生成と同様に、長期にわたって、昼夜連続運転が必要となる。

・Sr: 理論計算では、値がばらついているところか、符号が違う場合すらあるので、実験的に決めていく。ここ数か月でまとまりつつある。

・Yb: Sr と同様に、Nemitz さんがまとめている。(洪委員質問) Yb と Sr の係数に違いはあるか？ (高本委員回答) あまりない。

・時計の可搬化: 2 台の Sr 光格子時計の開発。45cm x 60cm の Box に全部パックする。2cm x 3cm の ECDL を開発。→ (洪委員質問) MEMS 利用しているか？ (高本委員回答) No。従来の干渉フィルタ型 ECDL であり、メタル部分をレーザー溶接で一体化している。ある意味で古典的。

#### ・安田委員

1. UTC (NMIJ) の現状と周波数校正業務について。UTC に対して、 $\pm 20\text{ns}$  以内を維持。持込比較が年間 1 件、遠隔比較が年間 21 件実施。→ (藤井委員質問) NICT での周波数校正業務の内訳は、産総研とちょうど反対に、持込比較が多くて、遠隔比較が少ない。この理由は？ (洪委員回答) 歴史的経緯の説明。遠隔を推奨してきた。(細川委員コメント) 産総研では、安価な GPS レシーバーを開発し、

普及させてきた。NICT ではメーカーと共同開発したが、ディスコンとなった。(武者委員質問) 今江さんの装置は今でも使えるか？(五箇委員回答) フレックタイム社製の装置を最近導入した。問題なく使える。

2. NMIJ-F2 の現状。不確かさ評価が最終段階に入り、 $5.9 \times 10^{-16}$  と見込まれる。

3. CS0 の現状。液体 He を使用しない装置を開発。 $1 \times 10^{-14}$ @1s より小さいアラン偏差を有する、複数台の冷凍機冷却方式 CS0 を整備し、年 1 回の停電などのイベントを除けば周波数ロックが全く外れない連続運転可能。(中川委員質問) クライオサファイアに類似のものとして、クライオシリコン共振器があるが、その状況は？(安田委員回答) 産総研では扱っていない。(高本委員回答) 数年前重力波関係の人(麻生さん)が開発したが今はやっていない。(蜂須委員回答) 長期ドリフトが小さいので、光時計で時系を生成する上で原子のオペレーション頻度を下げることができる。これを目的に現在 NICT ではポーランドからのポスドクが開発に着手している。

4. 光コムの研究開発：デュアルコム分光、新しい制御法(「デュアルビート位相同期法」によるオフセットフリーコム)、光コムの高精度化(ファイバノイズ差キャンセル法による不確かさ 20 乗のマルチブランチコム)。

5. 次世代光周波数標準の研究開発の現状

- ・ Yb/Sr デュアル光格子時計による周波数比測定→IEEE UFFC にアクセプト済み。

- ・ 8 ブランチコムの開発

- ・ 長期連続運転可能な Yb 光格子時計の開発。NICT と同様に光時系生成を目指す。

- ・ 可搬型光格子時計のための光制御型低速 Yb 原子線源の開発→JPSJ で発表。

6. 電磁界標準に関する研究開発の現状(黒川委員の代読)

7. 高周波標準・計測に関する研究開発の現状(堀部委員の代読)

- ・ 洪委員

産総研から横国大に異動して 3 年経ち、研究室も大分立ち上がった。主テーマは、安定化レーザーと光コム。安定化レーザーの波長域は、1.5 $\mu$ m、1.0 $\mu$ m、800nm、700nm、600nm、500nm、400nm と幅広い。ターゲットは、光時計での利用。安価で作りやすい光コムを開発。デュアルコム分光。

- ・ 五箇委員

CSAC の現状。マイクロセミ社から 1 種類、出ている。エプソンや中国からも販売されているが、消費電力が数 W と大きい。大きさと消費電力を 2 軸とするポートフォリオをプロットすると、実質的に CSAC と呼べるのは、マイクロセミ社

のものだけ。

・NEDO プロで CSAC の開発中。産業的に最大のニーズは、海底資源探査のためのタイミング。2020 年には、CSAC の 2 倍程度の性能向上、60mW の消費電力のものを製品化したい。

・研究：産総研、リコーと共同で、ガスセルの研究。CPT 共鳴。バッファーガスによるシフトの影響。→①漏れないものを開発する。②漏れの評価をして、補正する。

#### ・杉山委員

イオントラップ光時計の開発。Yb<sup>+</sup>と Ba<sup>+</sup>。異なる遷移の周波数比を長期間計測して、基礎物理定数の時間変化を探索するのが目的。2017 年度の改良点は、2 方向から冷却レーザーを導入したこと。→（細川委員質問）これまで、イオントラップの場合には、1 方向からの冷却で良いはずだったが、2 方向で良くなった理由は？（杉山委員回答）ポテンシャルに非線形性があり、イオンが中心から離れると secular motion に影響がでる。（細川委員質問）他のグループでも 2 方向から入れているか？（杉山委員回答）入れている。2<sup>nd</sup> Doppler につながる micro motion を消すのが大事。3 方向から入れているところもある。

#### (5) 今後の活動方針

本小委員会の開催頻度について。年 2 回の開催を努力目標とすること。これまでの平均は、年 1 回かそれ以下だったが、活性化を図るために頻度を向上させる。

（小山委員コメント）親会への活動報告は 3 年に 1 回。親会の頻度に同期させる。

（武者委員コメント）URSI の国内会議(JRSM)に合わせた開催はどうか？

（小山委員コメント）JRSM は過去 2 回開催したが、やるのが大変なので、次回開催については、分科会で議論する。2023 年の札幌での GASS に合わせて盛り上げていきたい。

#### (6) その他

（細川委員コメント）

① Circular-T の 30 周年のお祝いのニュースが BIPM から届いた。（意外に若いものであるということ。1 月も途切れなかったという素晴らしい実績。）

② 産総研の臼田センター長の執筆によるブルーボックス（新しい 1 キログラムの測り方）の紹介。今年の SI 大改訂の宣伝にもなる。

（武者委員コメント）



今年の 4 月より、中川先生が、電通大レーザーセンターのセンター長になられたので、役職名の変更をすべき。→「電気通信大学レーザー新世代研究センター長 教授」

以上  
(2018/5/16 文責 安田)