

ISSN 2186-6945

Proceedings of Tokai University
Research Institute of Science and Technology

東海大学紀要

総合科学技術研究所

2010 Vol.31



RIST

Research Institute of Science and Technology

東海大学 紀要 総合科学技術研究所

Proceedings of Tokai University
Research Institute of Science and Technology

2010 Vol. 31



ご挨拶

資源とエネルギーに乏しい日本は科学技術をもって国を立てていく必要があります。そのためにはレベルの高い優れた研究と、それに裏付けられた教育を展開することが大切です。

建学の理念でもある、創設者松前重義博士の考えを具現化するため、1948年に産業科学研究所が設立され、その後、研究分野の広がりとともに学際的な研究の増加や技術開発の短期化などが強く望まれるようになり、新しい研究組織が必要となってきたことから、1978年に開発技術研究所が設立されました。

総合科学技術研究所は、これら二つの研究所の研究活動を発展的に統合し、東海大学、九州東海大学、北海道東海大学の三大学の研究を視野に入れた、学校法人直轄の組織として1997年に発足しました。学園の総力を結集して科学技術の総合的・学際的な研究開発を行うとともに、国内外の大学、産業界、国立・公立の研究機関などとの研究技術交流を進めることにより、学術を進展させると同時に研究・開発の成果を社会に還元していくことを目的とした総合的・学際的な研究所です。

その後、三大学が統合されたのを機に2011年4月より大学付置研究所に組織変更され再スタートを切ることになりましたが、研究所の基本的な精神は受け継がれ全く変わりません。今後も理学・工学を基礎とした広範な分野の研究をその特徴とし、総合的、学際的な研究を展開したいと考えております。

従来、研究所の活動を研究集報としてまとめ発行しておりましたが、今回から「東海大学紀要総合科学技術研究所」として研究論文を掲載し、研究所の活動の一端をご紹介することになりました。ご高覧頂ければ幸いです。今後の研究所の活動に対しご指導ご鞭撻のほどお願い申し上げます。

東海大学総合科学技術研究所
所長 渡邊 幹夫

目次—CONTENTS—

■総合科学技術研究所 所長挨拶	2
■無電極プラズマロケットエンジンの研究開発	4
I. 分割型フラットアンテナを装備した新型ヘリコンプラズマ装置	
谷川 隆夫 (総合科学技術研究所)	
篠原俊二郎 (東京農工大学大学院・工学研究院)	
本村 大成 (九州大学大学院・総合理工学府)	
■高速度ビデオでの運動解析プログラムの開発	12
— OpenMP 等を用いた相関計算並列化によるトレース高速化 —	
横山 直樹 (総合科学技術研究所)	
■分光計測に基づく屋内光環境の評価	22
竹下 秀 (総合科学技術研究所)	
■2010 年度総合科学技術研究所 活動記録	28

無電極プラズマロケットエンジンの研究開発

I. 分割型フラットアンテナを装備した新型ヘリコンプラズマ装置

谷川隆夫（東海大学・総合科学技術研究所）
篠原俊二郎（東京農工大学大学院・工学研究院）
本村大成（九州大学大学院・総合理工学府）

Research and Development of Electrodeless Plasma Rocket Engines

I. A New Helicon-Plasma Device equipped with a Segmented Multi-Loop Antenna

Takao TANIKAWA (Research Institute of Science and Technology, Tokai University)
Shunjiro SHINOHARA (Institute of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology)
Taisei MOTOMURA (Interdisciplinary Graduate School of Engineering Science, Kyushu University)

キーワード：無電極プラズマロケットエンジン，ヘリコンプラズマ，分割型フラットアンテナ
Keywords: electrodeless plasma rocket engines, helicon plasmas, segmented multi-loop antennas

Abstract

Electric propulsion systems are indispensable for near-future deep space explorations since they can offer much higher fuel efficiency (*i.e.*, large specific impulse) than chemical counterparts. However, conventional electric thrusters suffer the problem of electrode erosion due to the direct contact of various electrodes with hot plasmas; as a result, the advantage of a large specific impulse can be greatly reduced by the finite lifetime of a thruster itself. In order to solve this problem, we have been working on developing a completely electrodeless plasma thruster system based on a helicon wave rf-discharge and a plasma acceleration scheme that actively utilizes external electromagnetic fields excited by antennas installed in the outside region of the hot plasma. At Tokai University, a new helicon-plasma device, which is equipped with a specially designed segmented multi-loop antenna, has been constructed in order to perform basic experimental research to test various electrodeless plasma acceleration concepts for electric thruster applications. The same device can be used for various other plasma related applications, such as, basic plasma physics experiments, experiments on plasma processing, and laboratory simulations of space plasma phenomena. The device dubbed “Tokai Helicon Device” is described in this article.

1. はじめに

H-II ロケット（化学推進）の様な瞬時の大出力は出せないものの、一度宇宙空間に出てしまえば比推力の大変大きい（即ち、燃費の非常に良い）電気推進機（プラズマロケットエンジン）は、これからの宇宙開発に欠かせない推進機である [1]。2003 年に打ち上げられ、小惑星“いとかわ”の探査を成功裡に終了し、2010 年 6 月に地球に帰還しサンプルリターン・ミッションを見事成功させた我が国の宇宙機「はやぶさ」 [2] にはイオンエンジンと呼ばれるタイプのプラズマロケットエンジンが搭載されており、プラズマロケットエンジンの威力を世界に誇示した。しかしながら、イオンエンジンをはじめ、これまでに開発・実用化されているプラズマロケットエンジンはどれも有電極であり、プラズマと直接接触する電極の損耗により寿命が制限されている。これでは燃費の良さを十分に生かし切れない。我々は、この問題を完全に解消する完全無電極型電気推進機の実現へ向け、現在基礎開発研究を実施している [3]。本稿では、この研究に供されるためデザインされ、東

海大学に設置された、ヘリコン波利用 rf 放電（ヘリコン波放電の詳細については解説論文 [4] 及びこの解説の引用文献を参照されたい）を利用する新型プラズマ発生装置“東海ヘリコン装置（Tokai Helicon Device: THD）”の詳細について述べる。この装置の大きな特徴は、“分割型フラットアンテナ” [5, 6] と呼ばれる新デザインの励起アンテナを装備していることである。

第 2 節で THD の特徴、実験手法について述べ、第 3 節でプラズマ生成の実験例を示す。第 4 節は本稿のまとめ及び今後の実験計画などについてである。

2. 実験方法

2.1. 実験装置

東海ヘリコン装置の模式図を Fig.1 に、写真を Fig. 2 に示す。以下、装置の詳細について述べる。

2.1.1. 真空系

ステンレス・スチール製の主真空容器（内径 20 cm, 長さ 1 m）の片側に T 型チャンバーが接続されており、その下部に開口 6 インチのゲートバルブ及び液体窒素溜付バツフルを通して油拡散ポンプが設置されている。油拡散ポンプは比較的安価で保守が容易であり、ターボ分子ポンプのような高周波振動が無いため計測系に対するノイズも少なく、大変使い勝手が良い。バツフルがあるため真空容器内は比較的クリーンであり、液体窒素を使用しなくてもベース圧力を 10^{-4} Pa 程度に保つことが出来る。現在使用しているガス種は Ar 及び He である。本稿では Ar プラズマの実験結果のみを示す。

2.1.2. 高周波関係

真空ポンプが設置されている側と反対側のエンドフランジに取り付けられた石英ガラス窓の外側（大気中）約 5 mm の位置に、窓に平行に分割型フラットアンテナが設置されている。アンテナの写真を Fig. 2（右側）に示す。アンテナは同心円状の 4 つのループより構成されている。中心寄りのループよりループ I, II, III, 及び IV と呼ぶことにし、中心からそれぞれのループセグメント（セグメント幅 = 8 mm）の中心までの距離をループの半径と呼ぶことにして、ループ I の半径 = 2.8 cm, ループ II の半径 = 4.8 cm, ループ III の半径 = 6.8 cm, 及び ループ IV の半径 = 8.8 cm である。一番内側のループ I は 2 分割であるが、その他の 3 つのループは 4 分割されている。このアンテナの際立った特徴は、結線方法を工夫することでいろいろな円周方向モード ($m = 0, \pm 1, \pm 2$ など) の電磁波を励起可能なことである。また、以前大型装置で実証されたように [7, 8]、使用するループの数を変える、結線方法を変えることにより放射される電磁波の放射パターンを変化させる、これらの方法の組み合わせ、等により生成されるプラズマの径方向密度プロファイルを制御することが可能である。さらに、このアンテナは、ヘリコン波放電用に使用されるばかりでなく、各種プラズマ波動をプラズマ中に励起することにも使用可能である。

放電には、サムウェイ社製の高周波増幅器（モデル T146-6656A）を使用している。パルス運転時の最大パワーは 4 kW である。アンテナー高周波増幅器間のインピーダンス整合には真空バリコンを使用するスプリットタンク回路を採用している。Fig. 2 の全景写真で右端のアルミボックスが整合器である。損失を低減させるためアンテナと一体構造になっている。現有のコンポーネントで 5–10 MHz の周波数がヘリコン波放電用に使用可能である。

2.1.3. 磁場関係

東海ヘリコン装置には同一形状の 9 個の磁場コイルが設置されている。全てのコイルに電流を流した場合、励起アンテナ位置を含む長さ 1 m の真空容器主部の全域にわたり $\pm 1.5\%$ 以内で一様な磁場（最大磁場強度は現在 600 G である。パルスモードでは、最大数 kG まで発生させることが可能であるが、現有の電源で上限が制限されている）を印加可能である。ところが、アンテナ付近の磁場強度を弱めにした非一様磁場配位の方が放電を開始し易い、ヘリコン高密度放電に遷移し易い、

実験装置と磁場プロフィール

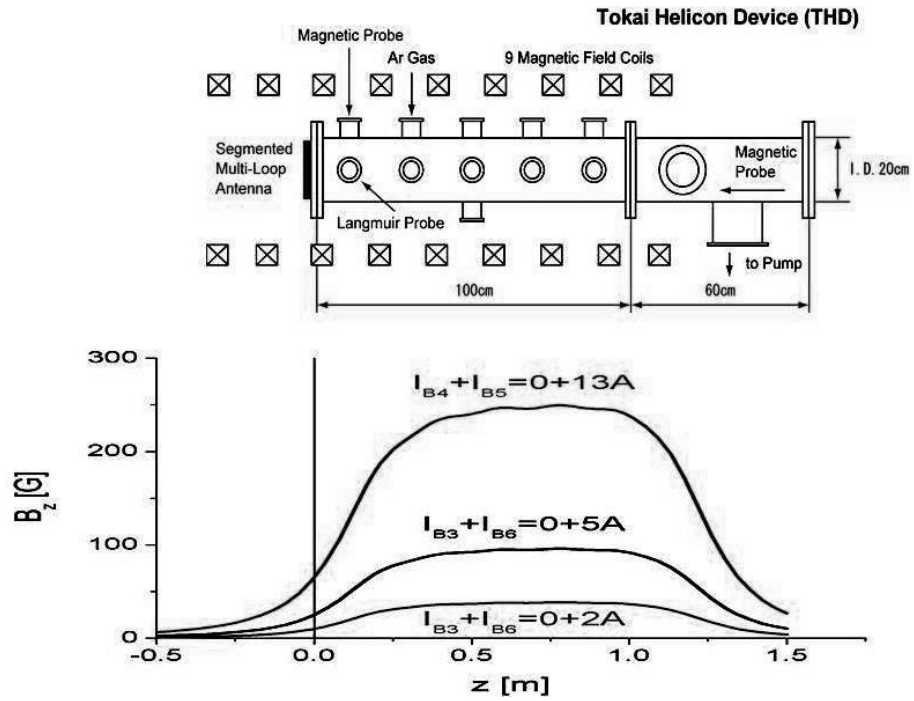


Figure 1. Schematic of the Tokai Helicon Device (THD) with several examples of the axial magnetic field profile.

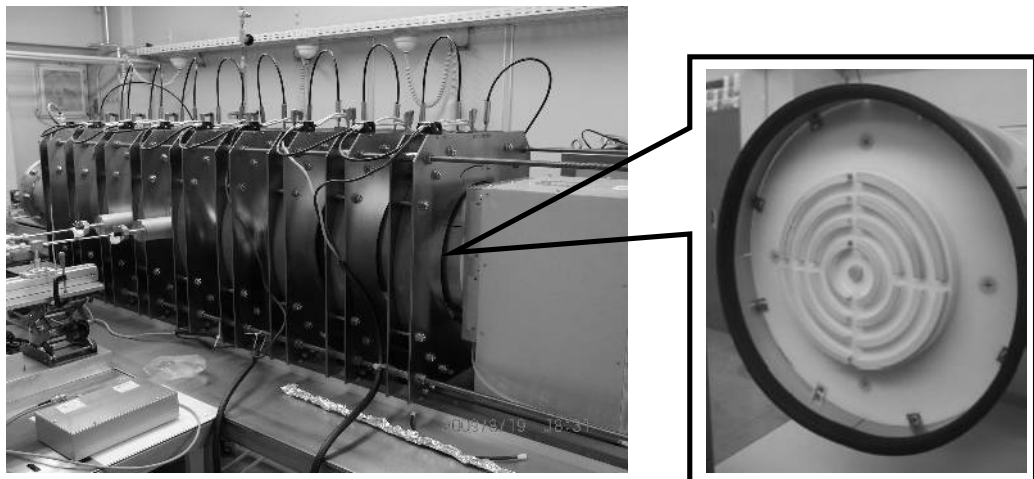


Figure 2. Photos of the THD and the segmented multi-loop antenna.

という特徴を持つため、第3節で紹介する実験では Fig. 1 下図に示すような磁場プロファイルを用いて実験を実施した。ここで、 $I_{B4} + I_{B5} = 0 + 13 \text{ A}$ とは、左側（アンテナより）4個のコイルには電流を流さず、右側の5個のコイルにのみ13 Aの電流を流したという意味である。 $I_{B3} + I_{B6} = 0 + 5 \text{ A}$ は、左側3個のコイルには電流を流さず、右側6個のコイルに5 Aの電流を流した場合である。同様に、 $I_{B3} + I_{B6} = 0 + 2 \text{ A}$ は、左側3個のコイルには電流を流さず、右側6個のコイルに2 Aの電流を流したことを意味する。2台の磁場コイル励起用電源により、実際には Fig. 1 に示す以外の種々異なる磁場配位を実現可能である。

2.2. プラズマ診断法

主真空容器の側面には隣り合う磁場コイルの隙間ごとにアクセスポートがあり、径方向に可動なプローブ類を設置可能である。真空ポンプステーション側のT型チャンバー側からは、3次元的に可動なプローブも挿入可能である。プローブドライブ類は、National Instruments社の制御プログラムLabVIEWにより制御される。測定系との連携による自動計測も可能である。

プラズマ密度、電子温度測定にはディスク又は円筒型ラングミュアプローブを用いている。ヘリコン波動などの電磁波に付随する振動磁場計測には直径1 cm弱のループアンテナを用い、振動電場計測にはrfピックアップアンテナを使用する。イオン温度及び分布関数計測にはマルチグリッド型静電エネルギーアナライザーを用いる。アクセスポートごとにガラスフランジを取り付け可能であり、分光法などの光学測定についても検討中である。高速度カメラによるプラズマ計測については既に開始している。

3. 実験結果 及び 考察

THD内に生成されるプラズマの放電特性を理解するために、Arガスをを用いた場合について、生成されたプラズマの電子密度 n_e が入力rfパワー P_{inj} を上げるにつれどのように上昇するのかを、3種類の異なるバックグラウンド磁場強度について測定した例を Fig. 3(a) に示す。この実験では、Arの中性ガス圧は0.23 Pa、分割型フラットアンテナのループII及びIVをヘリコン波励起に使用した。ループII及びIVは、電流が同方向に流れるよう直列に結線され、 $m = 0$ の周方向モードを持つ電磁波を放射する。使用周波数は $f_{rf} = 7.0 \text{ MHz}$ であった。ループIVの一端が高周波増幅器の高電圧側に、ループIIの一端がグラウンド側に接続された。放電は、放電パルス幅約30 ms、繰り返し周波数1 Hzのパルス放電であった。密度測定は、放電が十分定常状態に達したrfパルスON時から約10 ms以降の時点でなされた。測定位置は、真空容器軸上($r = 0 \text{ cm}$) $z = 30 \text{ cm}$ ($z = 0 \text{ cm}$ はアンテナ側の石英ガラス窓の内面位置である)であった。Fig. 3(b)は、同条件下でのアンテナ負荷抵抗 R_t (=真空負荷抵抗 + プラズマ負荷抵抗)の P_{inj} に対する変化をプロットしたものである。Figs. 3(a) 及び 3(b)において、黒四角、白丸 及び 白三角のプロットは、それぞれ $I_{B3} + I_{B6} = 0 + 4 \text{ A}$ 、 $0 + 2 \text{ A}$ 及び $0 + 1 \text{ A}$ という異なる磁場プロファイル下での測定結果である。良好な容量結合性により、 $P_{inj} < 1 \text{ W}$ でも $n_e \geq 10^9 \text{ cm}^{-3}$ 級のプラズマが生成されていることが分かる。rfパワーを上げて行くにつれ容量結合性プラズマ (Capacitively Coupled Plasma: CCP) から誘導結合性プラズマ (Inductively Coupled Plasma: ICP) に移行し、さらに P_{inj} を上げると $P_{th} \approx 2 \text{ kW}$ で所謂“密度ジャンプ”が生じ、 $P_{inj} > P_{th}$ でヘリコンプラズマ (Helicon Plasma: HP) モードに遷移する。HPモードでは、生成されたプラズマ中を伝播する $m = 0$ のヘリコン波が観測された(波動特性の詳細については別論文で発表予定)。また、HPモードを特徴付ける“ブルーモード”発光が観測された。高速度カメラで撮影された写真 (Fig. 4; アンテナと反対側のエンドフランジ上の窓よりアンテナ側を視ている。露光時間は100 μs であった)の中央部に見られる非常に明るい部分がブルーモード発光部位である。Fig. 3(b)より、HPモードに遷移すると、全アンテナ負荷抵抗 R_t が急激に上昇し、プラズマによるrfパワー吸収が突然良好になり放電効率が著しく上昇したことが見て取れる。

この実験では、 $P_{inj} \approx 3 \text{ kW}$ で $n_e \approx 6 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ の高密度プラズマを生成できた。電子温度は3–5 eV

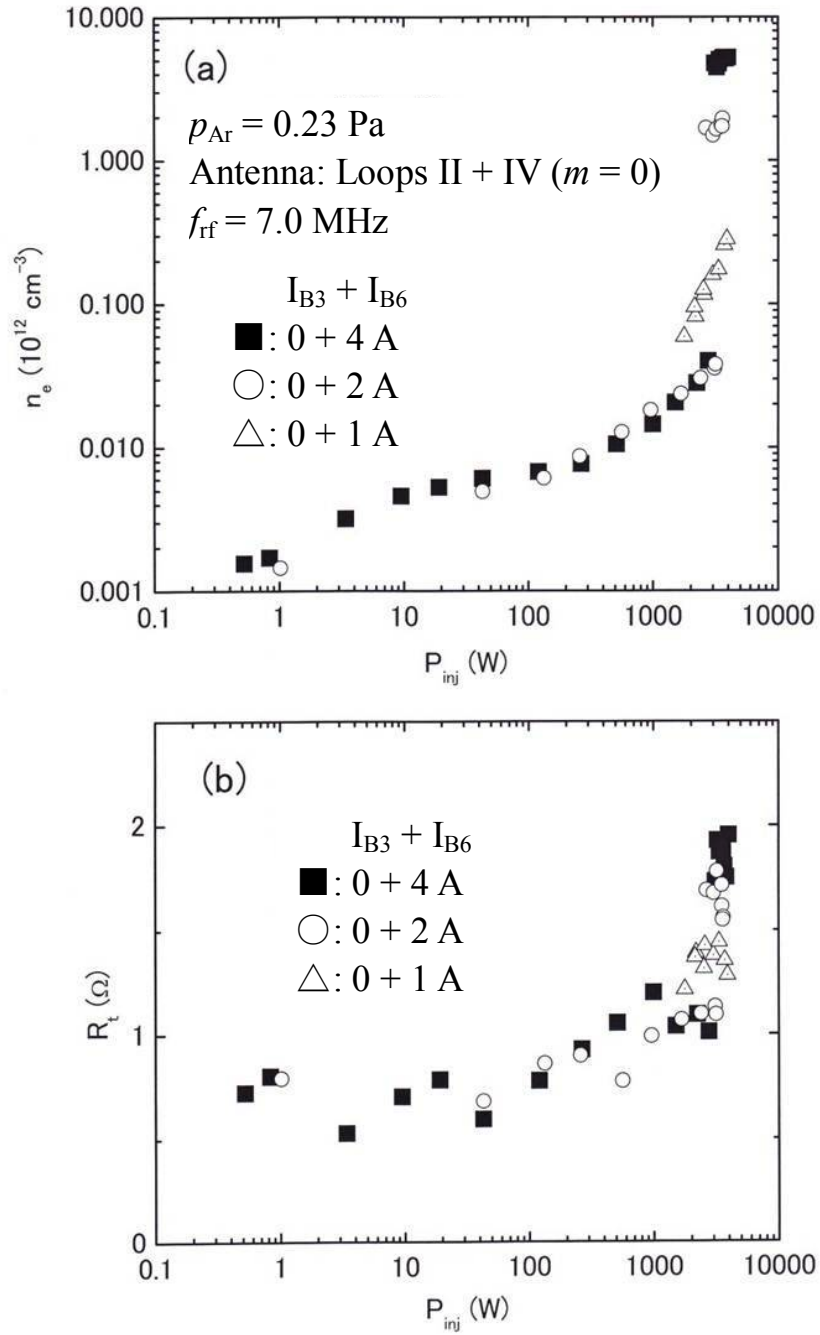


Figure 3. Characteristics of Ar gas discharge in the Tokai Helicon Device.
 (a) Electron density n_e versus injected rf power P_{inj} .
 (b) Total antenna loading resistance R_t (= vacuum loading resistance + plasma loading resistance) versus P_{inj} .

であった。Fig. 3(a) を見ると、磁場強度が高い方が密度ジャンプする閾パワー P_{th} が若干高くなり、ジャンプの仕方がシャープになる傾向にあることが分かる。また、密度ジャンプ後の最終プラズマ密度も高めである。この傾向は、フラットタイプのアンテナを用いた大型装置で得られた結果と同様のものである [7]。

電子密度 n_e の径方向プロファイルを高密度 HP 及び低密度 ICP の場合について測定した例を Fig. 5 に示す。HP の場合 [Fig. 5(a)] は、中心でピークを持つガウス分布に近い（周辺を除いて）密度プロファイルである。一方、ICP の場合 [Fig. 5(b)]、中心付近で密度分布はフラットで、周辺に行くにつれ比較的なだらかに密度が減少している。これらの傾向は、以前に大型チャンバー実験 [9] で得られた結果と類似である。

4. まとめ

本稿では、完全無電極プラズマロケットエンジン開発の基礎研究に供されるためデザインされ製作された新型ヘリコンプラズマ装置（東海ヘリコン装置, THD）を紹介した。本装置の際立った特徴は、真空容器外に設置された分割型フラットアンテナを持つことである。真空容器の外側にあるため大変取り扱いが容易である。分割されたループ構造の故に、種々の周方向モードを持つ電磁波を励起可能である。 $m = 0, \pm 1$ 及び ± 2 のモードについて励起可能性を検証済みである。 $m = 0$ 及び ± 1 モードを使用した場合については、高密度ヘリコンプラズマ生成にも成功している。

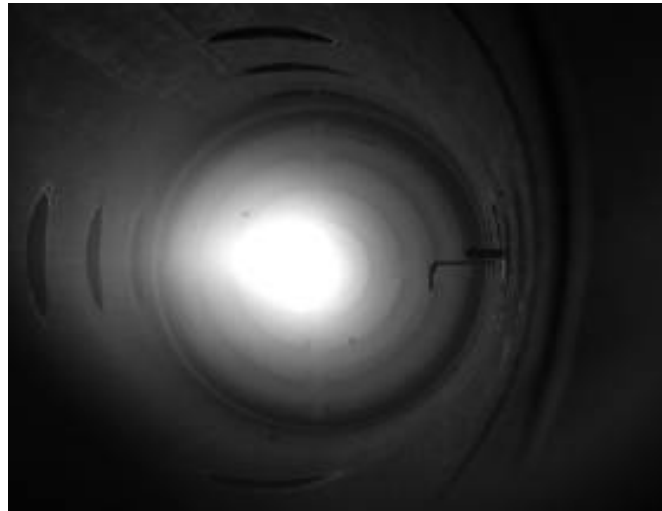


Figure 4. “Blue mode” light emission from an Ar helicon plasma produced in the THD. The photo was taken by using Photron’s FASTCAM SA5 camera. The exposure time was 100 μ s.

今後、THD を用いて、HEAT プロジェクト [3] で提案されているヘリコンプラズマの無電極加速法を実証、最適化するための基礎実験を実施して行く計画である。

THD の分割型フラットアンテナは使用上の柔軟性に富むため、rf 放電に使用されると同時に、各種プラズマ波動を励起することにも利用可能である。この特長を生かして、THD ではスペースプラズマで観測される複雑なプラズマ波動現象の実験室シミュレーションが可能である。オーロラ域電離圏で比較的頻繁に観測され、酸素イオンのクロスフィールド加速等で重要な役割を持つと考えられる“低域混成波キャビトン”の室内シミュレーション実験 [10 - 12] を既に実施していることを指摘しておきたい。

謝辞

常に有意義なアドバイスをして下さった、良き共同研究者、指導者であった、故都木恭一郎先生に心からの謝意を表したい。本研究は、科学研究費補助金基盤研究 (S) 21226019 のサポートを受けて進められてきている。HEAT プロジェクト [3] の共同研究者、九州大学の羽田亨、大塚史子、宇宙科学研究所の船木一幸、松岡健之、東京農工大学の西田浩之、ウクライナ核物理研の K.P. Shamrai の各氏からの常日頃からのいろいろな側面での支援に対しても謝意を表したい。

参考文献 及び 註

- [1] 栗木恭一, 荒川義博 編, 「電気推進ロケット入門」(東京大学出版会, 2003).
- [2] <http://hayabusa.jaxa.jp/>
- [3] “高効率で損耗箇所のない(推進剤消費の問題を除いて)原理的に無限寿命のプラズマロケットエンジンの完成を目指す”という野心的目標を掲げて故都木恭一郎教授(2002年のプロジェクト開始時は宇宙科学研究所教授、2004年より逝去された2009年5月26日まで東京農工大学大学院教授)を代表者として科学研究費補助金を受けつつ2002年度に基礎研究を開始した。基盤研究(B)14350514(2002年度-2004年度)、基盤研究(A)17206084(2005年度-2008年度)と進み、2009年度より基盤研究(S)21226019(ヘリコン源を用いた先進的無電極プラズマロケットエンジンの研究開発、2009年度-2013年度)(研究の概要については、http://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/12_kiban/ichiran_2/j-data/j67_shinohara.pdfを参照されたい)がスタートした。都木教授が2009年5月に突然逝去されたため、著者の一人(S.S.)が研究代表者を引き継ぎ、研究を続行中である。この研究プロジェクトをHEAT(Helicon Electrodeless Advanced Thrusters)プロジェクトと呼んでいる。研究分担者は、本稿著者の一人(T.T.)の他、九州大学大学院 総合理工学府の羽田亨教授、宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所(ISAS/JAXA)の船木一幸准教授、東京農工大学大学院 工学研究院の西田浩之准教授である。その他、海外研究協力者としてウクライナ核物理学研究所のK.P. Shamrai博士、博士研究員2名を含む何人かの研究協力者がこのプロジェクトに参画している。
- [4] 篠原俊二郎, 解説 “ヘリコンプラズマ源の開発と応用-広域プラズマ科学への展開”, *日本物理学会誌*, **64** (7), pp. 519-526 (2009).
- [5] T. Tanikawa, S. Shinohara, Y. Ikeda, T. Hada, and K. Toki, *Bull. Amer. Phys. Soc.* **51** (7), 164 (2006).
- [6] T. Tanikawa and S. Shinohara, *Bull. Amer. Phys. Soc.* **53** (14), 175 (2008).
- [7] S. Shinohara and T. Tanikawa, *Phys. Plasmas* **12**, 044502 (2005).
- [8] T. Tanikawa and S. Shinohara, *Thin Solid Films* **506-507**, 559 (2006).
- [9] 谷川隆夫, 篠原俊二郎, 船木一幸, 山際啓一郎, JAXA Special Publication, **JAXA-SP-06-016**, pp. 30-34 (2007).
- [10] T. Tanikawa, T. Motomura, K. Tanaka, and S. Shinohara, in *Proceedings of the XXIX General Assembly of the International Union of Radio Science* (Chicago, U.S.A., 2008), HP-05.3.
- [11] 谷川隆夫, 「科学研究費補助金研究成果報告書」基盤研究(B)15340199(2003-2005年度).
- [12] 谷川隆夫, 「科学研究費補助金研究成果報告書」基盤研究(C)19540524(2007-2008年度).

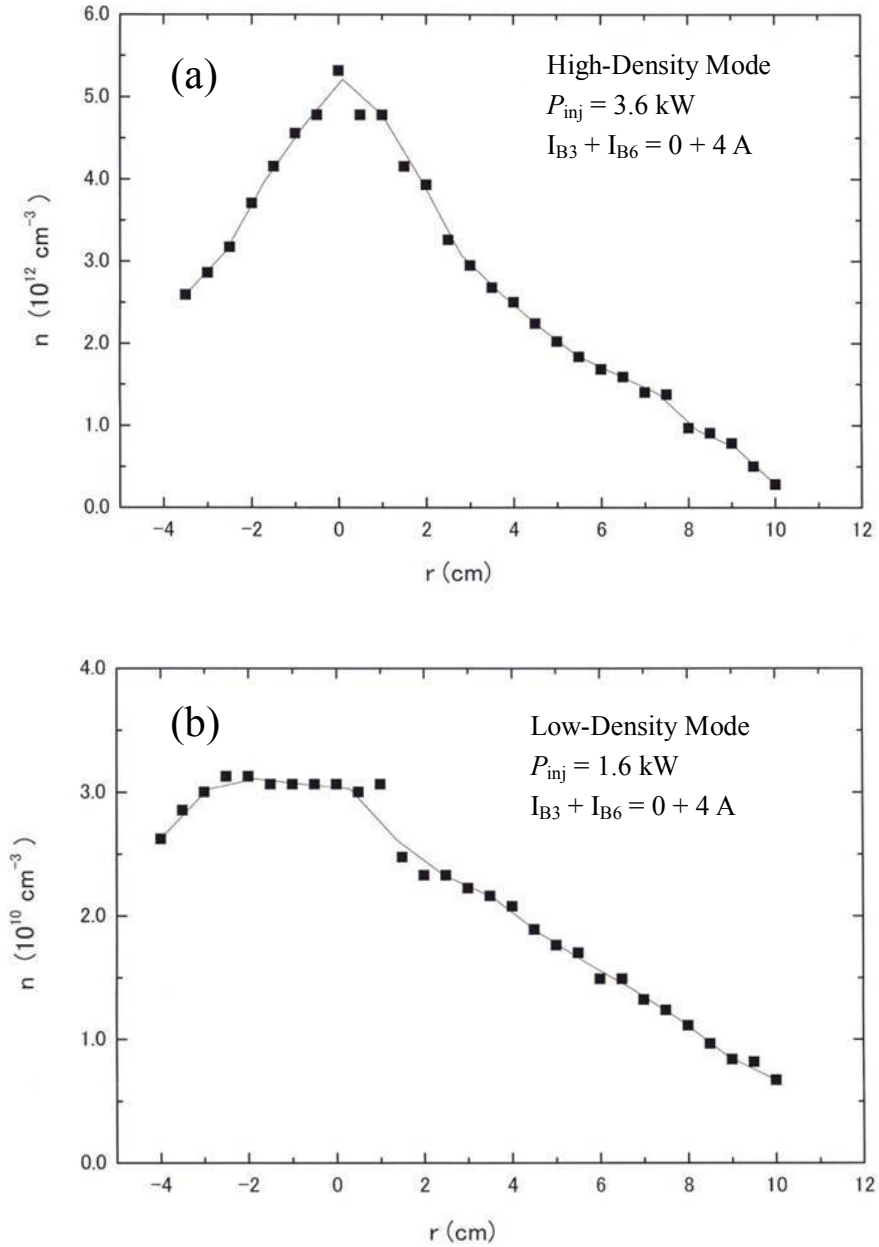


Figure 5. Radial profiles of the electron density n_e for (a) a high-density helicon plasma (HP) and (b) a low-density inductively coupled plasma (ICP).

高速度ビデオでの運動解析プログラムの開発 - OpenMP 等を用いた相関計算並列化によるトレース高速化 -

横山 直樹 (東海大学 総合科学技術研究所)

Development of versatile motion analysis program based on normalized correlation for high-speed videography - Parallel processing with OpenMP and MPI -

Naoki YOKOYAMA (Institute of Research and Development, Tokai University)

キーワード : 高速度ビデオシステム、運動解析、画像相関

Keywords: High-speed video system, Motion analysis, Image correlation

Motion analysis program for images acquired by high-speed videography was developed and tested. This program was originally developed for Shimadzu' ultra high-speed video recording system. Then it was extended to handle general movie AVI file. Fully automatic analysis method of position detection based on cross-correlation was proposed. Experiments were performed for rotation of cooling fan and butane combustion. Laser interferometer was utilized to visualize refractive index change caused by butane-air combustion. Temporal resolutions were 1,000 frames/s to 100,000 frames/s. Cross-correlation calculations can be very heavy load to computer systems, so any kind of parallel processing should be used if available. CPU based parallel processing method OpenMP and network based method MPI were discussed this time.

1. はじめに

高速度ビデオシステムによって記録された動画を対象とし、物体の運動を自動解析するプログラムを開発し、その有効性を実験的に検証した。特に時間分解能を高めた高速度ビデオシステムにおいては、空間分解能に制限があり、各フレームにおける対象物体の位置の計測精度が低くなりがちであるが、画像相関値を評価関数とし、その極大値が得られる位置を物体位置として把握するアプローチでは、位置情報をサブピクセルの単位で求めることが可能である。

2. VMAP(Versatile Motion Analysis Program for high-speed videography)

このプログラムの主な特徴は以下のとおりである、

- 島津製作所の 100 万駒/秒超高速度ビデオカメラで記録されたファイルに関しては、その内部構造までを把握しており、ヘッダ部分から撮影速度等の記録時の主要なパラメータを読み取る。
- 上記システム以外で得られた動画であっても、Windows の標準的な AVI (Audio Video Interface) ファイルであれば解析可能である。この場合は撮影速度等を手動で正しくセットする必要がある。
- 物体の位置把握は、相互相関計算により行われる。位置検出は、サブピクセルの精度で実行される。
- 変位後の物体位置をさがすパターンは、螺旋である。これをスパイラルサーチと呼ぶ。図示すると Fig.1 のようになる。時間分解能が充分な場合は、効率的なサーチが可能である。

- テンプレートを回転させながら相関計算を行うことで、物体の動きに回転成分が含まれている場合にも、その角度を検出することができる。
- 静止画を扱うことができる。時間的に連続する静止画は、それらを一旦 AVI ファイルに連結してから取り扱うことができる。
- 運動解析結果の軌跡を、元の動画に重ねた形で動画として出力できる。
- マニュアル解析が可能である。
- 各フレームの画像を、ヒストグラムの等値化アルゴリズムにより強調できる。
- ROI の数が多いか、またはその領域が大きいときは、相関計算にかなり時間がかかることが見込まれるが、前者の場合はネットワーク上で複数の計算機を用意することで、MPI (Message Passing Interface) を用いた分散処理が可能である。
- 相関計算を工夫することで、上記のネットワーク分散処理に加えて単一ノードでの処理の高速化も図ることができる。この場合は CPU ないし GPU により並列処理を行う、これら二つの併用も可能である。

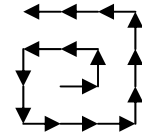


Fig. 1 Spiral search

Fig.2 にこのプログラムの操作パネルを示す。

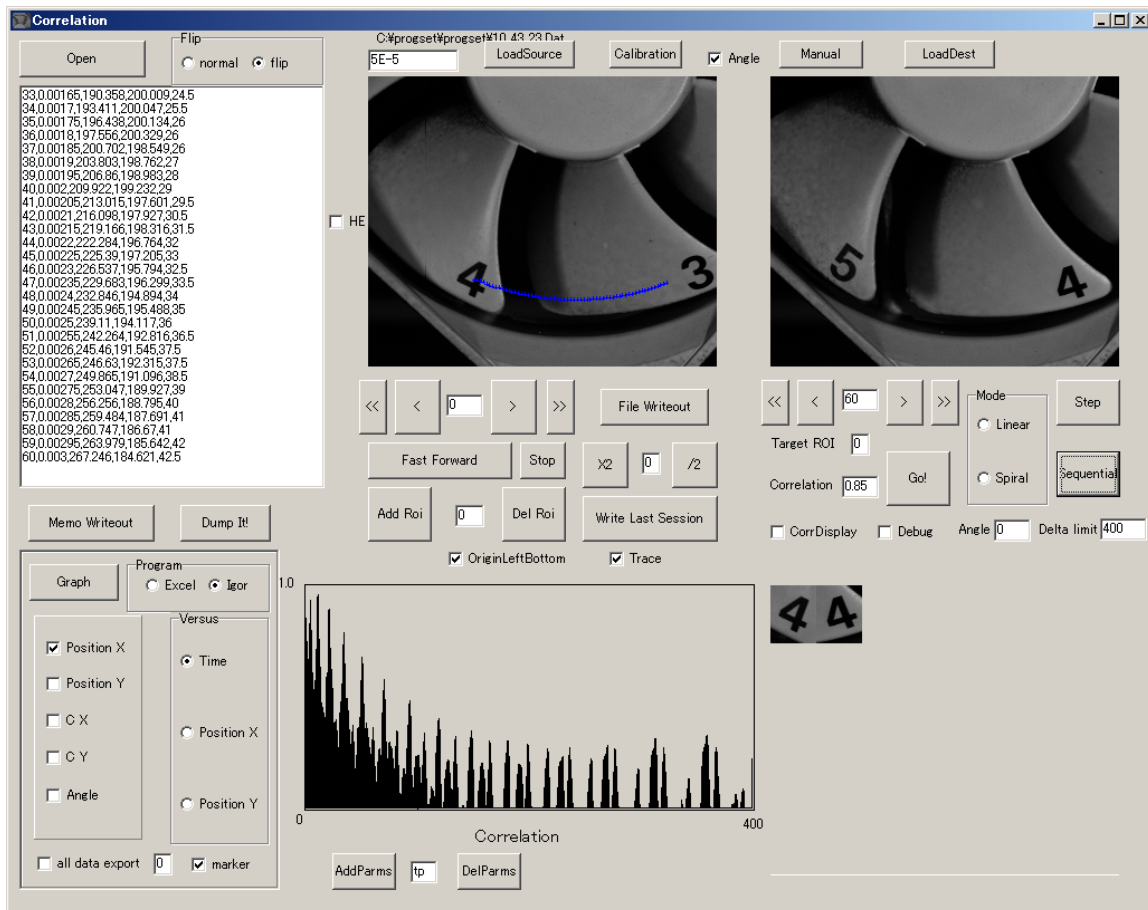


Fig. 2 Operational Panel of VMAP

物体の着目領域である ROI(Region of Interest)は、フレーム毎に相互相関値の極大点を探索することで追跡できる。この場合の正規化相互相関(ZNCC:Zero-mean Normalized Cross-Correlation)は、次の式で与えられる。

$$\frac{\sum(f_i - \bar{f}) \times (g_j - \bar{g})}{\sqrt{\sum(f_i - \bar{f})^2} \times \sqrt{\sum(g_j - \bar{g})^2}}$$

ここで f_i と g_j はそれぞれ ROI と探索対象画像上にとったその対応部分上の画素を示す。 \bar{f} と \bar{g} は対象領域にわたって計算された画素の輝度の平均値である。Fig.2 の左端中央に示されている Graph ボタンをクリックするだけで、自動解析された結果は、外部のプログラムを使用してグラフ表示することができる。例を Fig.3 に示す。

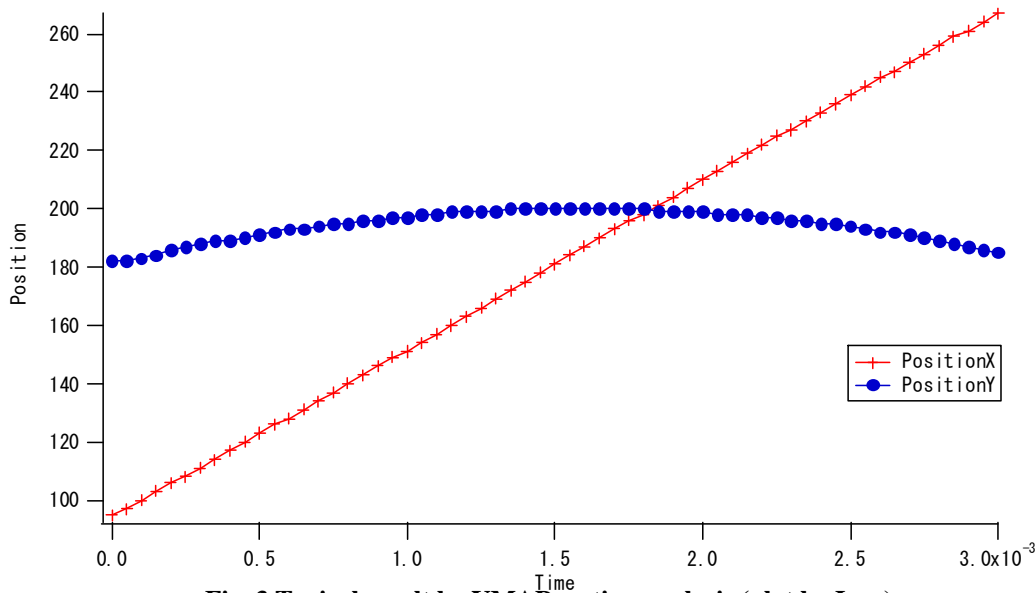


Fig. 3 Typical result by VMAP motion analysis (plot by Igor)

3. 実験および議論

3.1 ブタンガスの燃焼

レーザ干渉計を用い、ブタンガスの燃焼による光路長変化を可視化し、十分な時間分解能で記録した。撮影速度は、100,000 fs/s までを用いた。動画から抜き出した静止画の例を Fig.4 に示す。



Fig. 4 Still Images from butane combustion by laser interferometer 5,000 fs/s

Fig. 4 に見られるような干渉縞の動きを自動解析するためには、上述の正規化相関はそのままで

は適用できない。サーチ方向を限定することで、部分的に自動解析が可能となる。今回はマニュアルで縞の拡がりを解析した。Fig. 5 に時間に対する最外郭の縞の空間的拡がりの変化を示す。縦軸は画素単位である。水平方向と垂直方向の差は、電極の存在によるものと考えられる。

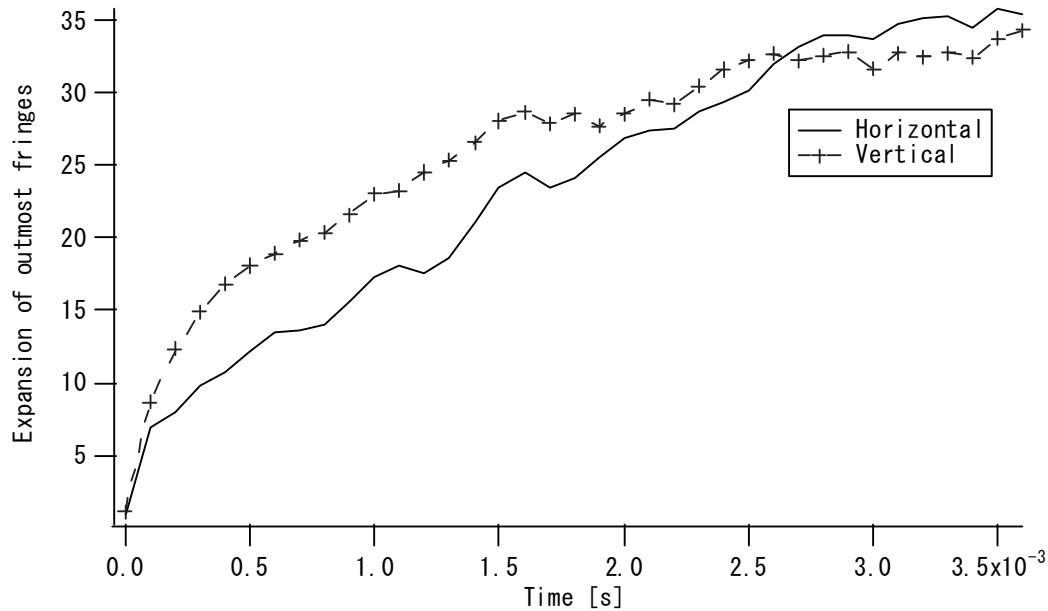


Fig. 5 Experimental result of Butane-air combustion

3.2 冷却ファンの運動解析

つぎに、回転運動も伴う場合の解析が可能かどうかを検証するために、PC 用の高速冷却ファンを対象として実験を行った。ファンの設定回転速度は最高毎秒 3,800 r.p.m.であった。結果の例は Fig.3 に示したものである。単なる並進運動でなく、対象が回転する場合は、相関計算のためのテンプレートの回転も考慮に入れる必要がある。そうすることにより、角度が大きくなった時点でも、適切な位置の検出ができる。Fig.6 にその例を示す。左側(a)が回転補正あり、右側(b)が回転補正なし（右端付近でマッチ失敗）である。

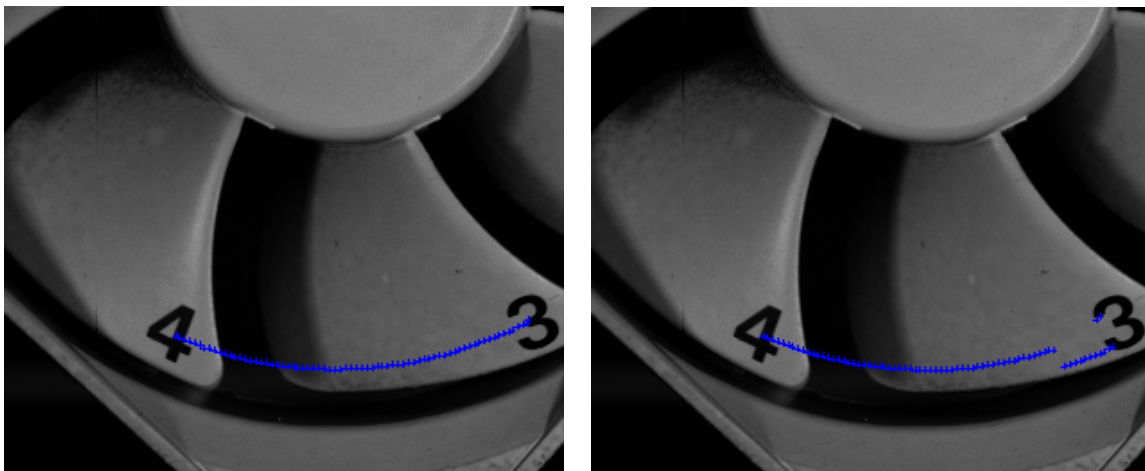


Fig. 6 Effects of rotational compensation (a) without compensation (b)

回転補正はテンプレートを微小角回転させたものをアフィン変換によって求め、本来のテンプレ

ートでなくこの変換後のものと対象画像上の領域との相関値を計算することで行う。この性質を利用することで、ROI の位置だけでなく回転角度の計測も可能である。Fig. 7には角度も含めた解析結果の例を示す。時間-角度のプロットに直線を当てはめ、その勾配を計算することでファンの回転速度が得られる。結果は3,830 r.p.m.であった。こうした解析は、データをエクスポートしたプロットプログラム側で、そのプログラムのマクロ等を用いて実行することが可能である。

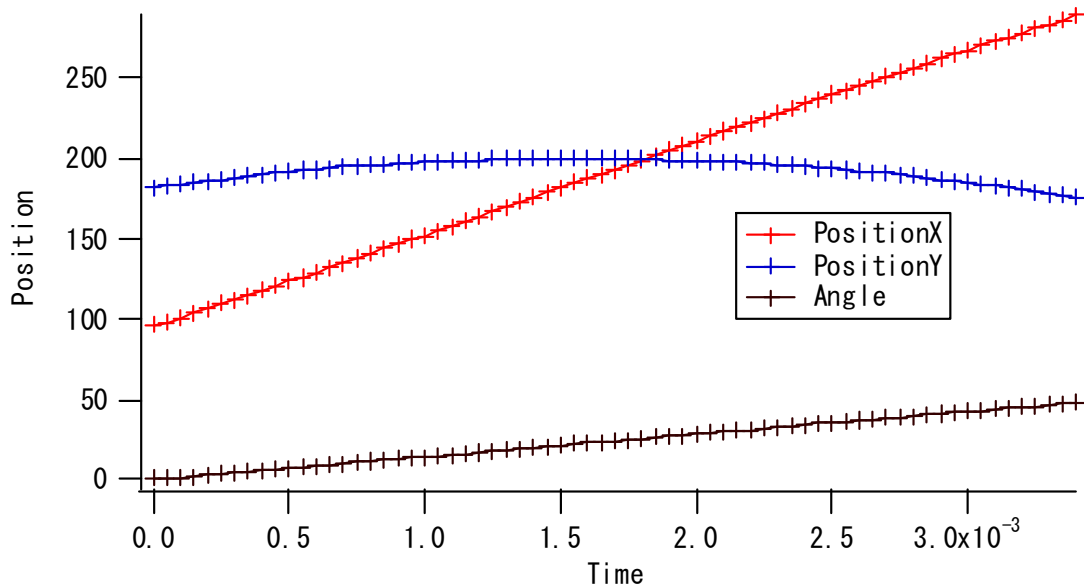


Fig. 7 Analysis result for rotation of cooling fan @3,800 r.p.m.

3.3 複数の気泡の同時トラッキング

正しく撮影速度を設定することにより、この運動解析プログラムを、一般の AVI ファイルにも適用可能である。Fig. 8に示すのは、島津製作所の超高速ビデオシステムより高い空間分解能を持った、Photron 社製 FASTCAM-Ultima (512x512) で記録した動画ファイルを解析した結果である。Fig. 8の左の8個のターゲットの気泡の位置をフレーム毎に示したのが右の結果である。前述のように解析結果を動画として書き出すことも可能である。

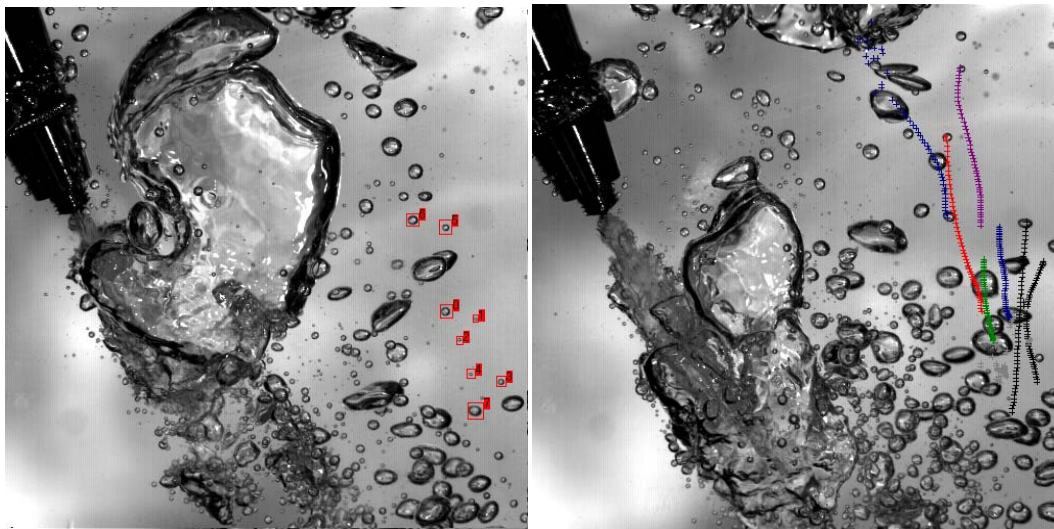


Fig. 8 Tracking of multiple objects (bubbles in water)

Fig. 8 のような多数の気泡を対象とする場合、相関計算の負荷が大きくなることが予想されるので、数百個の ROI が存在する場合も考慮し、なんらかの負荷分散が必要となる。

3.4 負荷分散のストラテジ

対象部位が多数存在するような場合、負荷分散の方法は原則的に下記のものが考えられる。

1) フレームによる分割 (時間軸での分割)

これは実際には、前のフレームにおける物体位置が後のフレームのスタート位置として影響するので、順次位置を求めることが必要なので、かなり困難である。

2) 位置による分割 (空間軸での分割)

ROI によって分割する場合は実現容易であるが、ROI の個数が少なく、さらにそのサイズが大きい場合に負荷分散の効果があまり大きくならないことが予想される。つまり ROI の数以上には分割できないということである。その場合でも、相関計算ルーチン自体を並列化することで、マルチコアを利用した単一ノードでの高速化は可能である。

空間軸での分割を用いて、ネットワーク分散処理により負荷軽減ができることは後で MPI に関連して述べるが、ここではまず単一ノードでの相関計算の高速化をテンプレートの形状の工夫と並列計算により目指す。

3.5 ROI のサイズおよび形状による相関計算の高速化

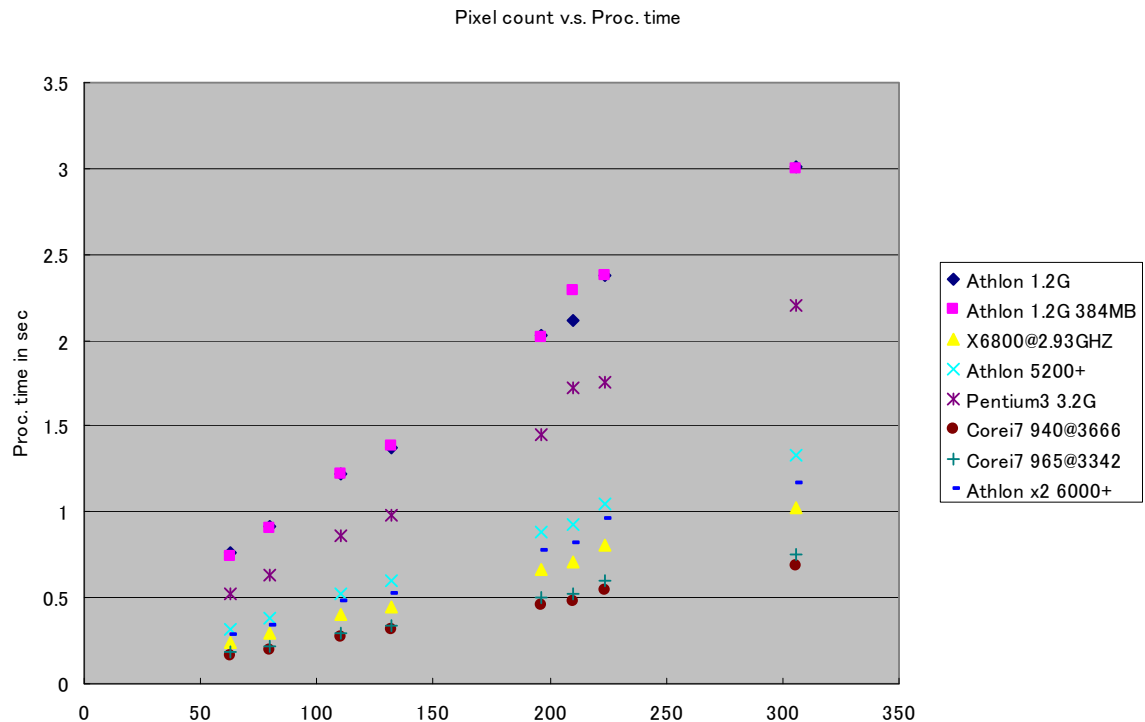


Fig.9 Relation between pixel count and processing time

Fig.9 に各 ROI の画素単位での大きさと処理時間の関係を、最近のものを含めた種々のマシンで計測した結果を示す。対象画像と 8 個の ROI は Fig.8 と同様である。画素の数と処理時間はほぼ線形な関係で、CPU の速度やメモリの読み出し速度によりその傾斜が異なるグラフとなっている。直

線の Y 切片がゼロになっていないのは、ディスク I/O 等の時間のためと思われるが、それもまたマシンによって異なる結果となっている。

次に ROI (テンプレート) と対象部位との過不足性とトレース結果の関係について述べる。Fig. 10 はテンプレートが余剰な場合、ちょうど外接する場合、内接する場合について、計算時間とトレース結果を示したものである。計算時間は左から 3.35 秒、1.56 秒、0.49 秒で、トレース結果は左二つの場合はほぼ同一で正しい結果が得られている。

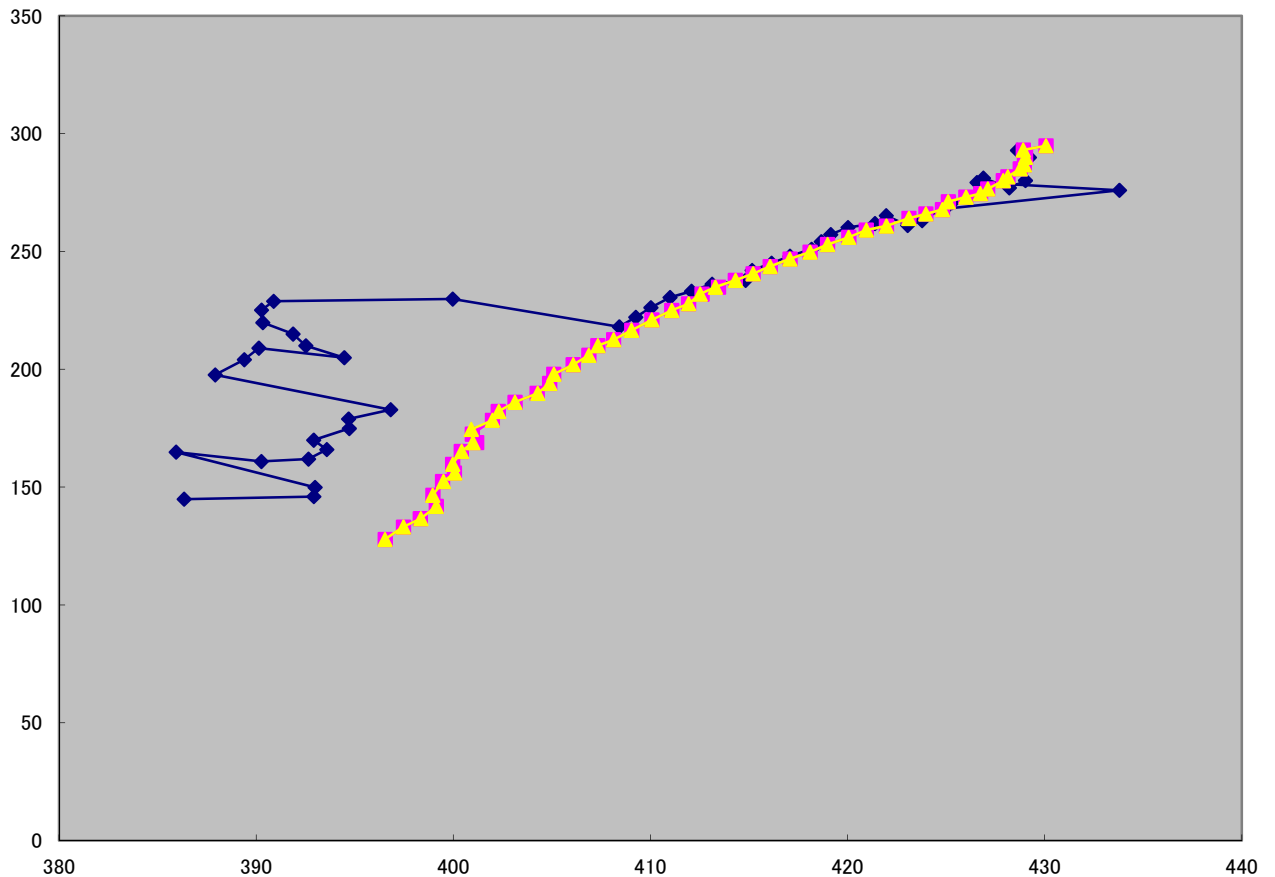
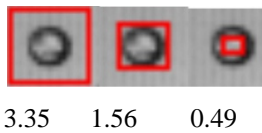


Fig.10 ROI size's effects to traceability

結局矩形のテンプレートを用いる限り、対象部位にちょうど外接するサイズが最適なテンプレートということがわかった。しかし内部の均一な部分の計算は省ける可能性がある。そこで主に対象部位の輪郭領域に物体情報があると考え、輪郭部のみを相関計算に使うアプローチを試してみた。結果の一部を Fig. 11 に示す。本来の 195 画素のうちエッジ情報を持つ 39 画素に対してのみ計算することで、計算時間が 0.36 秒から 0.18 秒と半減し、かつ相関値そのものも大

きく、より良好なトレース結果が得られた。

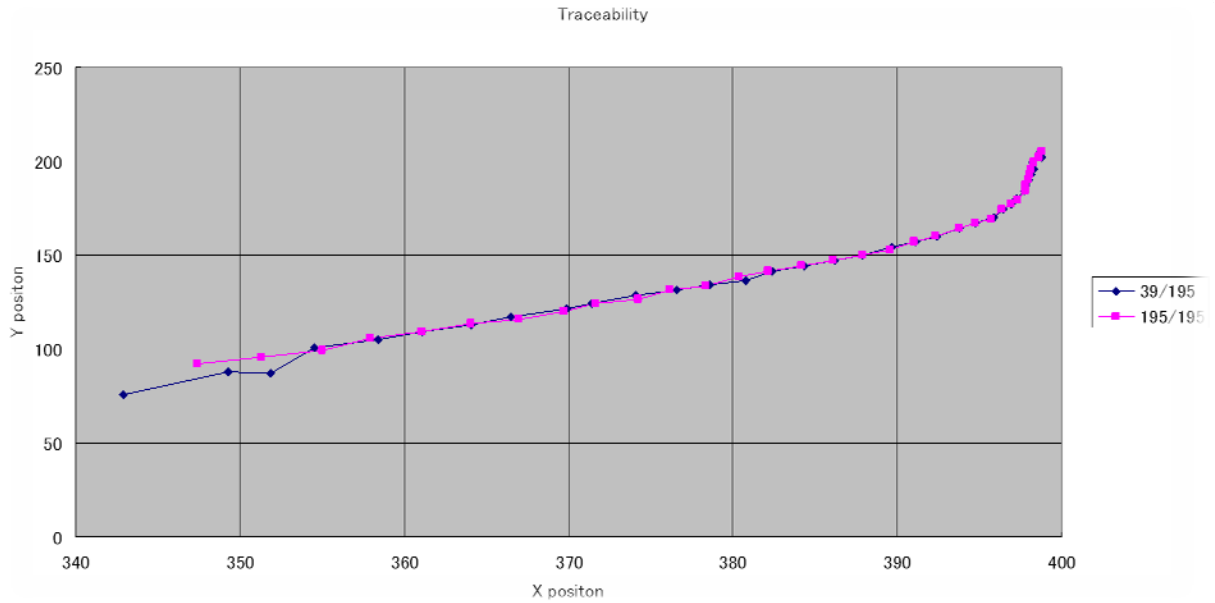


Fig. 11 Traceability results by weighted templates

3.6 OpenMP による並列処理での相関計算高速化

スレッド数と処理時間

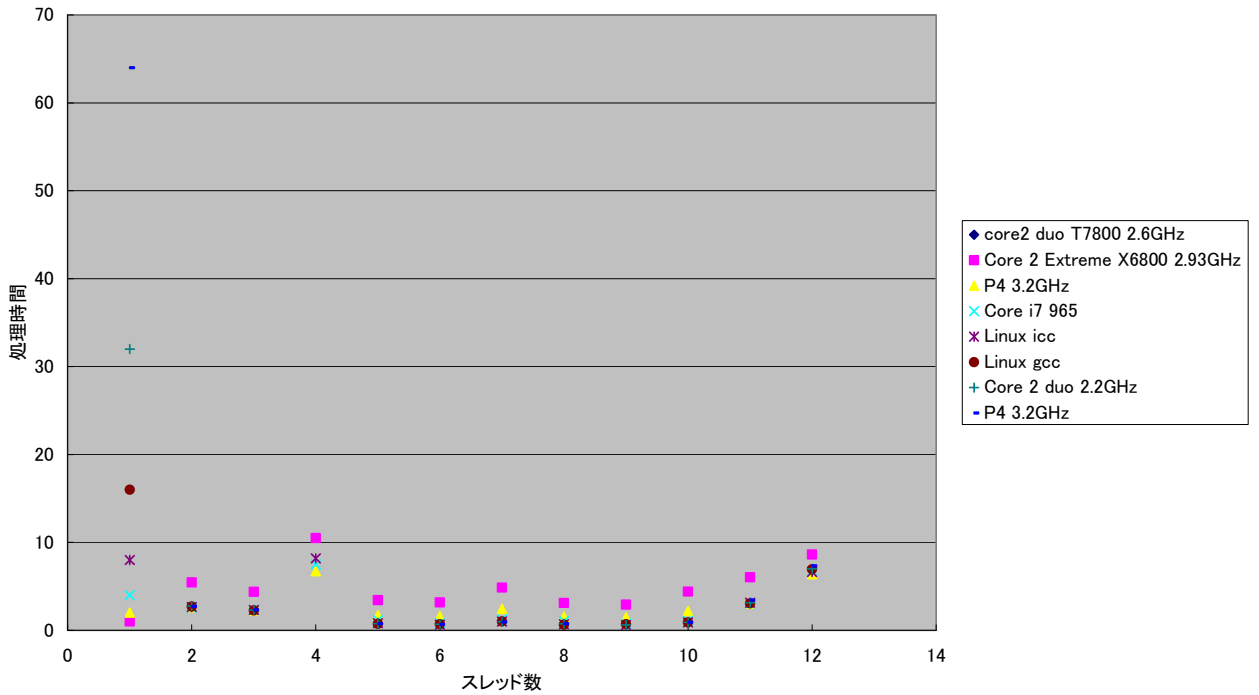


Fig.12 Processing time v.s. numbers of threads (OpenMP)

Fig.12 には 32 個の ROI を対象とし、複数の相関計算をスレッドに分配することで高速化を図った場合での、処理時間とスレッド数との関係をプロットしたものである。もちろん CPU やコンパイラの種類にも依存するが、その CPU のネイティブなコア数やスレッド数の場合に処理時間が最小化されることがわかった。たとえば 2009 年時点で最新の Intel の Core i7 の場合は、ハイパースレッドと呼ばれる機構により 1 コアあたり 2 個のスレッドが使えるので、スレッド数 8 で処理時間が最小となっている。

3.7 MPI による相関計算高速化

次に複数のホストが高速ネットワークでつながれている環境で、上述の OpenMP と同様な並列化の戦略で相関計算を高速化することを目指した。Fig.13 は横軸にランク数（ノード数にコア数をかけた同時に実行される処理の数で、この場合は 1 から 64 にわたる）を、縦軸に秒単位の処理時間を取ったもので、筑波大学、東京大学、京都大学の三大学が共同で開発した、PC クラスタ型分散並列型スーパーコンピュータである T2K システム上で計測した。ゲストアカウントで処理を試行した関係で最大のランク数が 64 であった。本来の同時利用可能な最大単位は 512 ノード(8,192 コア)である。

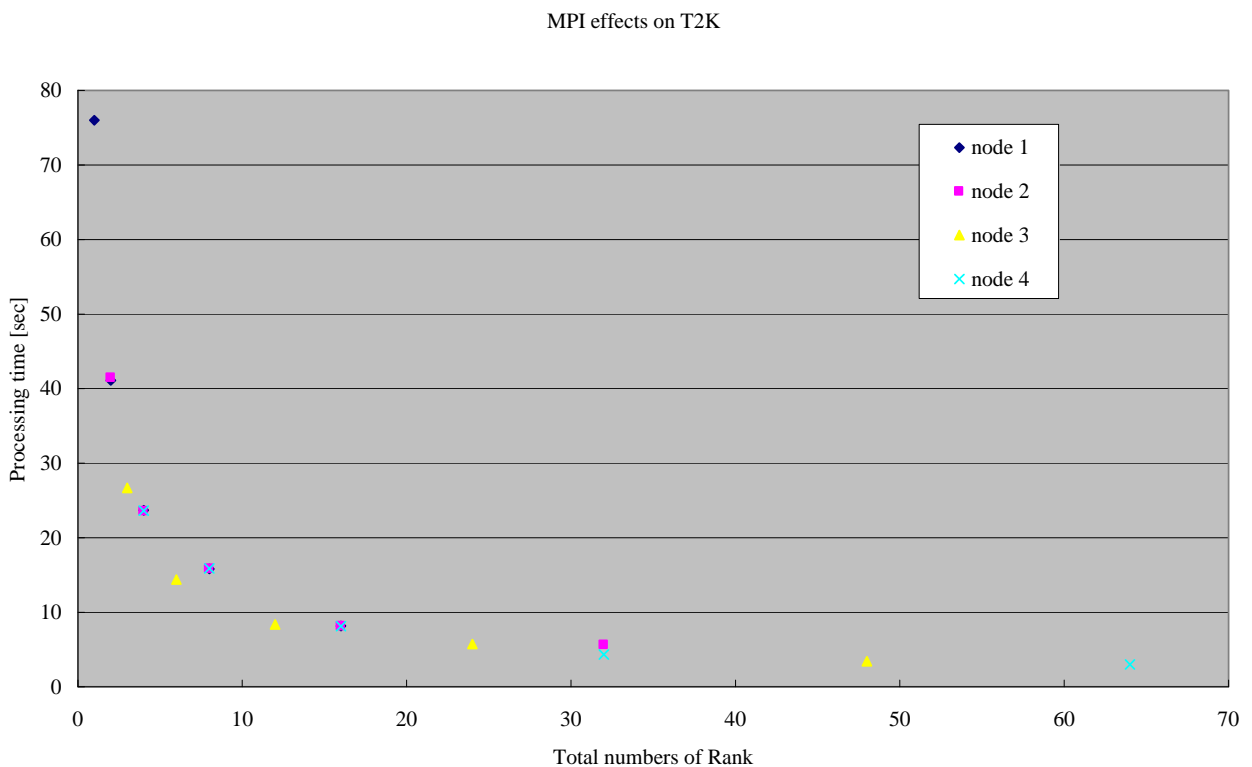


Fig. 13 Total number of Rank v.s. Processing time at T2K guest account 256 ROIs

処理時間はランク数に逆比例して減少しており、並列処理のためのオーバーヘッドがほとんどない

理想的な傾向をしている。その理由は負荷(ROI 256 個)が十分大きいためであると考えられる。

5. 結論

テンプレートのエッジ情報に着目し、エッジ成分が高い画素のみを相関計算に使用することで、計算の高速化だけでなくより良い追跡が可能であることがわかった。また OpenMP を用いることにより、複数の相関計算を並行して走らせることができ、それによってコア数程度の高速化が可能となることがわかった。ただしエッジ情報抽出の際のしきい値などを自動的に決定するまでにはいたっていない。従って、多数の気泡ないし粒子を対象とし、重み付きテンプレートと相関計算を併用して運動解析を行う場合には、自動的にテンプレートを生成することが必要であり、今後の課題である。

参考文献

- [1] N. Yokoyama: Position detection by cross-correlation with linear scan camera (one-dimensional high-speed video camera), Int. J. Japan Soc. Prec. Eng., Vol. 33, No.1 (Mar. 1999) 57-58
- [2] 横山直樹, 高速度撮影とフォトニクスに関する総合シンポジウム 2007 講演論文集, 2007, pp. 37-40 (2007)
- [3] MPI <http://www.mpi-forum.org/>
- [4] OpenMP <http://openmp.org/>

分光計測に基づく屋内光環境の評価

竹下 秀（東海大学 総合科学技術研究所）

Evaluation of Indoor Lighting Environment Based on Spectral Optical Radiometry

Shu TAKESHITA (Research Institute of Science and Technology, Tokai University)

キーワード：屋内光環境, 分光計測

Keywords: indoor lighting environment, spectral optical radiometry

Abstract

An indoor lighting environment has been designed to contract comfortable, safety, and high working efficient based on illuminance and colour appearance. Artificial general light sources have been used as a light source for indoor lighting. An international standard to the indoor lighting work place was published by ISO/CIE. However, global warming became a serious problem. The design which uses sunlight passing through a window is becoming active for reducing global warming. There is no data set of indoor lighting environment which is lighting with artificial light source and the daylight. Aims of this research are an evaluation of indoor lighting environment based on spectroradiometry, and demonstrated solutions of indoor lighting environment when daylight used.

1. はじめに

照明は、人間が一日 24 時間の大半を過ごす屋内空間に必要なものであり、人間の活動空間の広がりや科学技術の進歩と共に発展を遂げてきた。照明の目的は、ある空間で生活・活動する人間の安全を確保し、効率的で快適な空間を実現することである。この実現のための国際的な照明規格が ISO（国際標準化機構, International Organization for Standardization）と CIE（国際照明委員会, Commission Internationale de l'Éclairage）で策定され¹⁾、国内規格 JIS に反映されてきた²⁾。また、これらの規格を満足するよう蛍光灯など人工光源を使用した屋内照明空間が設計されてきた。

21 世紀に入り、地球温暖化問題解決のために二酸化炭素排出削減が要求されている。建物の中での照明のエネルギー消費は極めて大きく、オフィスビルでは全体の約半分を占める空調に次ぐ消費項目である³⁾。また、日本国内の戸建て住宅では、全消費エネルギーの中で、エアコン、冷蔵庫に次いで 3 番目の消費項目である⁴⁾。すなわち、照明の改善は、二酸化炭素排出削減に極めて有効であり、LED 等の高効率の光源への切り替えや照明方法の変更が提案され、国内外で政策として実施されている⁵⁾⁶⁾。さらに、LED 等の高効率の光源への切り替え以外に、昼間は太陽光を積極的に活用するようになった。太陽光を効率的に屋内空間に取り入れるための窓開口を工夫すると共に、導光ダクト、ブラインド等による調光制御が研究され、実用化されている⁷⁾。このように、21 世紀は屋内照明の一大変革期と言える。ただし、これらの研究は、照度や不快グレアによる評価、すなわち人間の知覚量による評価だけによる。

21 世紀は光放射の視覚以外の人体作用、例えば、生体リズムに関する研究とその応用、さらには光触媒のように屋内空間の光放射の積極的利用による屋内環境改善に関する取り組みが始まった世紀でもある。人間の生体リズムに関係するメラトニン分泌抑制作用スペクトルの作用極大波長は 460 nm 付近にあり⁸⁾⁹⁾、人間の明所視の分光視感効率とは異なる。このため、照明環境における人間の生体リズムは、単に照度だけでは正確にその効果を評価することは不可能である。光触媒の作用スペクトルも、生体リズムと同様に分光視感効率とは異なり、光触媒の効果を照度で評価する

ことは適切ではない。

光放射の視覚以外の人体作用を考慮し、さらに光放射の新技术を活用した新しい屋内環境の実現には、単に照度だけでなく、これまで取り組まれていなかった分光計測による評価と設計が必要である。本研究は、これまで取り組まれていなかった屋内光環境を分光計測によって評価し、新しい屋内光環境の設計につなげるための基礎データを収集することを目的としている。本報では、太陽光だけで照明された屋内光環境を照度と分光学的に評価した結果を報告する。

2. 実験方法

2.1. 計測装置

本研究では、背面照射型電子冷却付ファイバー入力形分光器 (QED6500, Ocean Optics) に、小型積分球 (FOIS-1, Ocean Optics, 大きさ: 56.8 mm x 62.4 mm x 38.1 mm, 開口径: 9.5 mmφ, 内部コーティング材: スペクトラロン) を取り付けた計測器を利用した (Fig. 1)。この計測器は、JCSS (Japan Calibration Service System) に則って校正された分光放射照度標準電球 (JPD100-500-CS, ウシオ) を3本利用してエネルギー校正した。分光放射照度標準電球の校正波長域は250 nmから2500 nmである。なお、この分光器の計測可能波長は200 nmから980 nmであるが、分光器の迷光を考慮し、分光放射照度の解析波長範囲は350 nmから980 nmとした。

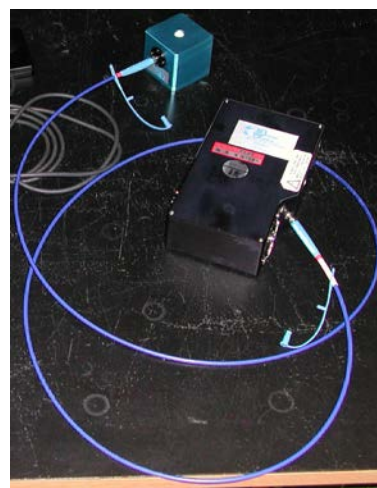


Figure 1 Spectral radiometer for evaluation

2.2. 評価した屋内光環境

計測した屋内光環境は、東海大学湘南校舎J館(139°16' E, 35°21' N)の4階の教室(横幅3.76 m, 奥行き7.50 m, 天井高2.5 m)である。教室の内部の魚眼写真を Fig. 2 に、教室の見取り図と測定点を Fig. 3 に示す。この教室は、ほぼ真南の方角に引き違い式のガラス戸がはめ込まれている。また、北側の壁には木製のドアと上部には小さな窓ガラスが取り付けられている。教室南側の引き違い式のガラス戸の見掛けの透過率を、日中消灯して戸を開けたときの分光放射照度と、戸を閉めたときの分光放射照度を、東側の壁から1.88 m, 窓から1.50 mの位置で2008年8月7日正午に測定して算出した (Fig. 4)。波長350 nmよりも短波長側では、透過率が急激に低下し、この透過特性からこのガラス戸の素材は、青板ガラスであるこ



Figure 2 Fisheye photograph of the lecture room evaluated

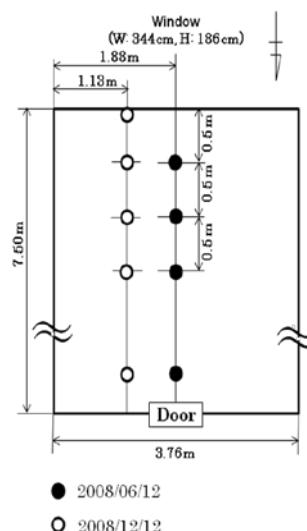


Figure 3 Plan and measurement point of the lecture room evaluated

とが確認された。

この教室の床面には、灰色の P タイルが敷かれている。また、壁面と天井には、白色の有孔吸音板が張られている。床面と壁面の光反射の影響を評価するために、これらの光反射率を測定した。P タイルと有孔吸音板ともに取り外しが不可能なため、実際に教室内で測定した。光源には、150 W キセノンランプ (L2175, 浜松ホトニクス) を使用し、反射率標準には校正表付の標準白色板 (SRS-99-020, Labsphere) を使用した。床面の反射率は、キセノンランプの光を表面アルミ蒸着全反射ミラーで床面に対して垂直に照射し、床面から 45 度方向の分光放射輝度を、積分球を取り外した前述のファイバー入力形分光器で測定した。また、壁面の反射率は、床面の影響を除去するために高さ 65 cm の位置で、キセノンランプの光を壁面に対して鉛直に照射し、45 度方向の分光放射輝度を測定した。床面と壁面の反射率の測定結果を Fig. 5 に示す。

この部屋の人工照明は、110 W 直管形普通形白色蛍光ランプ (相関色温度 4100 K, 平均演色評価数 61) が 6 本である。

2.3. 評価条件

本報では、計測器の積分球を、開口部が床面と水平で、かつ、床面から高さ 0.70 m になるように三脚を利用して設置し、水平面の分光放射照度を計測した。この 0.70 m という高さは、日本国内で市販されている机の標準的な高さであり、本研究では机上での視覚作業を想定した。さらに、水平面分光放射照度の測定結果より水平面照度を計算した。

季節による相違を評価するために、測定は太陽高度が異なる 2008 年 6 月 13 日と 2008 年 12 月 12 日の南中時前後に実施した。両日ともに測定時は快晴であった。南中時刻と南中時の太陽高度を Table 1 に示す。さらに、比較のために 2009 年 1 月 20 日に夜間、人工光源で照明した条件でも測定した。

6 月は東側の壁から 1.88 m の位置での奥行き方向の水平面分光放射照度を、12 月は東側の壁から 1.13 m の位置での奥行き方向の水平面分光放射照度を、ともに 0.5 m 間隔で測定した。これは、12 月の計測の際、引き戸のサッシが影になったためである。なお、6 月は窓の位置でのスペクトル測定は実施せず、窓から 0.5 m の位置から 0.5 m 間隔で測定した。

さらに、この教室には薄手のカーテンが取り付けられているが、カーテンは開け放した状態で測定した。また、本報では、窓を閉めた状態で測定した結果を報告する。

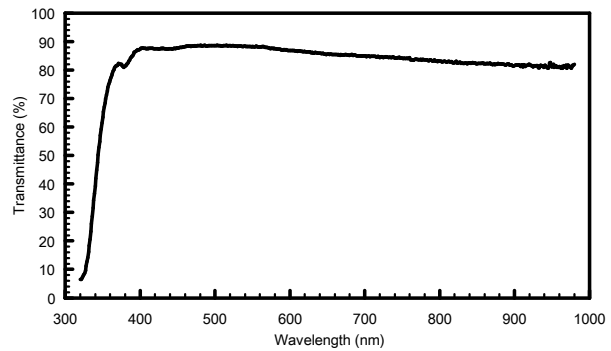


Figure 4 Apparent transmittance of the glass door of the lecture room evaluated

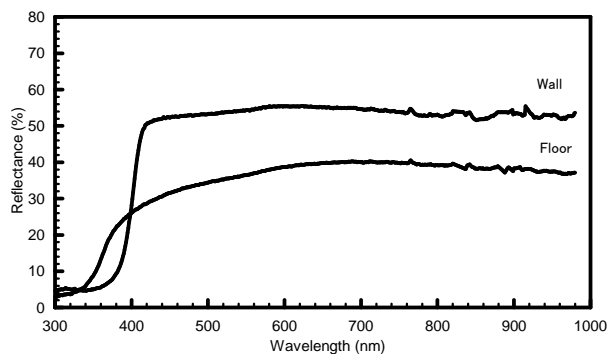


Figure 5 Reflectance of the floor and wall of the lecture room evaluated

Table 1 Culmination time and solar elevation of evaluated days

	Culmination time	Solar elevation (deg)
2008/6/13	11:43 JST	77.9
2008/12/12	11:37 JST	31.6

3. 結果と考察

奥行き方向の水平面照度の測定結果を、夜間の測定結果と共に Fig. 6 に示す。

夜間の測定結果は、窓から 0.5 m 以内を除き 400 lx 以上であり、最大照度は 1110 lx であった。6 月の奥行き方向の水平面照度は、窓から 0.5 m 以上離れた位置では 3000 lx 以下であり、窓から離れるに従って低下し、窓から 7.0 m 離れた位置では 100 lx 以下であることが明らかになった。一方、12 月の奥行き方向の水平面照度は 6 月と異なり、窓から 1.5 m の位置までは 20000 lx 以上であったが、2.0 m 以上離れると 2000 lx 以下に急激に低下することが明らかになった。これは、6 月と 12 月の計測時の太陽高度の違いとして説明できる。すなわち、12 月は 6 月と比較すると太陽高度が低く、窓から 1.5 m の位置まで直達日射が侵入したため、この位置まで著しく明るくなったと考察される。この結果は、中村らの報告と一致する¹⁰⁾。

屋内照明規格によると、教室の照度は 300 lx が推奨されている²⁾。これと比較すると 6 月は教室の窓際しかこの推奨値を満足しない。このため、窓から離れた位置では人工光源による照明が必要である。一方、12 月は、窓際は非常に明るい、教室の一番奥（窓から 7.0 m 離れた位置）でも 500 lx を確保しており、屋内照度の推奨値を満足していることが明らかになった。すなわち、人工光源による照明をしなくても作業するための明るさは確保されていることが明らかになった。しかし、窓際と教室の奥では照度は二桁異なっており、多数の人が同じような作業をする空間では均斉度の点で不相当であると考察される。次に、夜間は、屋内照度の推奨値を満足している。しかし、明るい位置での照度は推奨値の約倍であり、明るすぎると考察される。

6 月の奥行き方向の水平面スペクトルの変化を Fig. 7 に、12 月の奥行き方向の水平面スペクトルの変化を Fig. 8 に示す。窓から 2.0 m の位置までの水平面分光放射照度は、12 月のほうが明らかに 10 倍以上高い値を示した。これは、照度の解析結果と同様に、12 月の測定時の太陽高度が冬至近くのため低く、この位置まで日向の状態にあったためである。これらの解析結果より、部屋の同じ場所でも季節によって太陽光の入り方が異なり、この結果、季節によって明るさが異なることが明らかになった。

次に、季節による水平面のスペクトルの違いを明らかにするために、Fig. 7 と Fig. 8 の縦軸を波長 560 nm での分光放射照度で正規化したものを、それぞれ Fig. 9 と Fig. 10 に示す。

6 月、12 月共に、窓から離れるに従って短波長側の分光放射照度が低下し、長波長側の分光放射照度が増加している。すなわち、赤っぽく色が変化していることが明ら

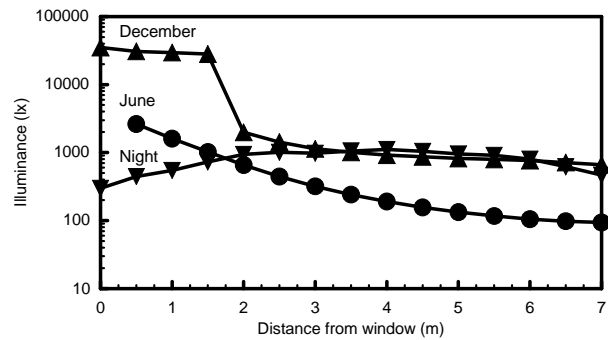


Figure 6 Position dependency of horizontal illuminance at the lecture room

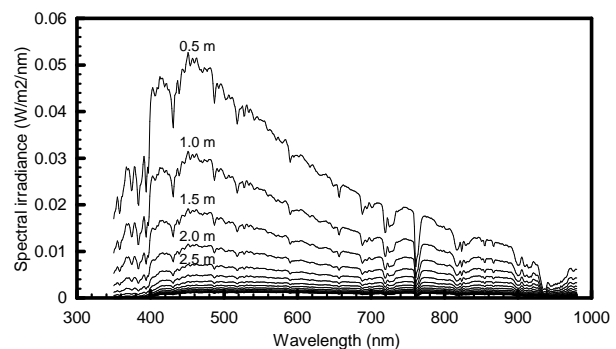


Figure 7 Absolute horizontal spectral irradiance at the lecture room evaluated in June

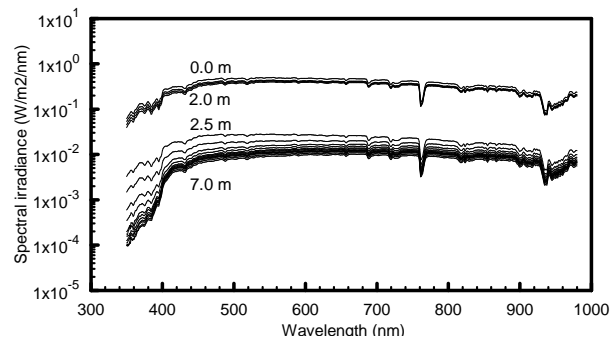


Figure 8 Absolute horizontal spectral irradiance at the lecture room evaluated in December

かになった。また、この変化の度合いは、6月ほうが顕著である。これらの原因は、太陽光の教室への入り方と、床面と天井・壁面での繰り返し反射で説明が可能である。

6月には、教室の窓際でも太陽高度が高いために天空日射しか届かない。教室の奥には、窓際に届いた天空日射が床面と天井で繰り返し反射して届いていると考えられる。そこで、窓から0.5 mの位置での水平面分光放射照度と床面と壁の反射特性から奥行き方向の水平面スペクトルの変化を推定した。0.5 mの位置での光放射が床に1回、天井に1回反射して0.5 mの位置よりも少し部屋の奥に入った位置での分光分布を生成し、これが順に繰り返されると仮定した。分光分布の変化の推定結果を Fig. 11 に示す。繰り返し反射回数が増加すると短波長側の分光放射照度が低下した。これは、測定結果を再現しており、推定が正しいことが確認された。

12月の1.5 mの位置までは日向であり、直達日射と天空日射が共に届いている。窓から2.0 m以上離れると直達日射は届かなくなり、床と天井で繰り返し反射した直達日射と天空日射が届いている。直達日射は、天空日射と比較すると波長の長い成分が多く¹¹⁾、かつ、天空日射の約10倍放射量が多い¹²⁾。このため、部屋の奥に届いている太陽光の大部分は、波長の長い成分が多い直達日射によると推定できる。さらに、部屋の奥に届いている直達日射は、元々、床と天井の反射率が低下する短波長成分が少なく、さらに、太陽高度が低いため繰り返し反射回数が少ないため大きく減衰しない。このため、スペクトル変化が小さくなったと考察される。

以上の結果、教室の窓際と奥では水平面のスペクトルが季節により異なることが明らかになった。このスペクトルの相違は、壁材や床材の反射特性の影響であると共に、直達日射の入り方に依存することが明らかになった。

4. 結論

本研究では、太陽光だけで照明された屋内光環境を分光測定し、その特徴を評価した。

太陽光だけで照明された屋内光環境の物理的な明るさは、太陽光の入り方に依存し、直達日射が届いている日向は、日陰と比較して10倍以上明るいことが明らかになった。本研究の主題である分光計測で屋内光環境を評価すると、部屋の窓際と部屋の奥ではスペクトルが異なり、この部屋の場合、部屋の奥ほど赤みを帯びることが明らかになった。これは、部屋の内装である床と壁（天井を含む）の特性に起因することを明らかにした。さらに、季節によってスペクトル変化は異なり、

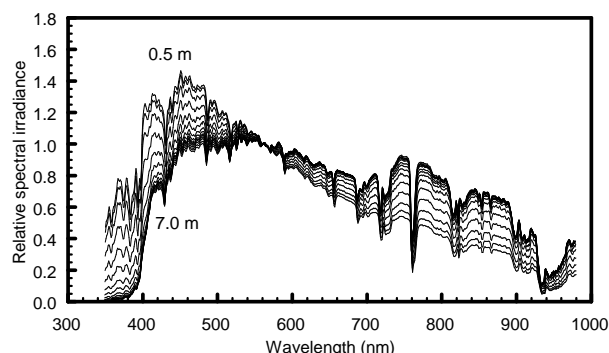


Figure 9 Relative horizontal spectral irradiance at the lecture room evaluated in June

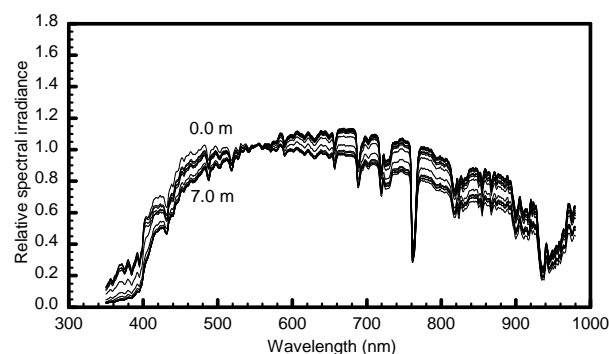


Figure 10 Relative horizontal spectral irradiance at the lecture room evaluated in December

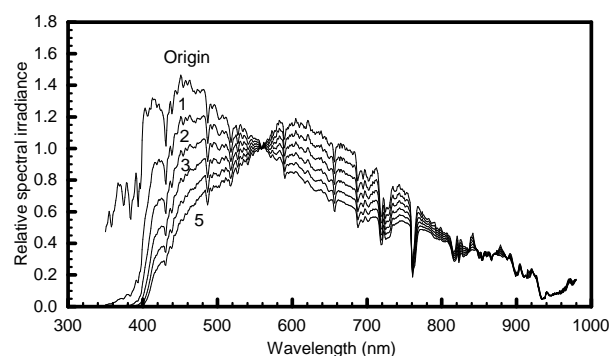


Figure 11 Relative spectral irradiance estimated from spectral irradiance and reflectance of the lecture room evaluated in June

これは部屋に入射する直達日射の入り方によることを明らかにした。以上、分光計測の結果をまとめると、太陽光だけで照明された屋内光環境は、太陽光の屋内への入り方によって、部屋の場所ごとに照度が異なるだけでなく、場所ごとにスペクトルも異なる。このスペクトルの相違は、届いている太陽光の直達日射と天空日射の成分の割合の違いであると共に、部屋の内装の反射特性によって引き起こされることが示された。このため、印刷産業など色評価が伴う作業では、その色の評価結果に影響を与える可能性があり、太陽光だけで照明された屋内空間は不適當であることが示唆された。

本研究で使用したデータは、2008 年度卒業研究生である角田良洋君が精力的に測定したデータのごく一部である。同君へ感謝いたします。

参考文献

- [1] ISO 8995-1:2002/CIE S008:2002, Lighting of Indoor Work Places
- [2] JIS Z9125: 2007, 屋内作業場の照明基準
- [3] 井上隆, 窓まわりの熱と光, 照明学会誌, **88**(10), 775 – 779 (2004)
- [4] 三木保弘, 住環境設計からの地球温暖化防止への取り組み, 第 24 回日本照明委員会大会講演予稿集, pp.1-8 (2008).
- [5] COMMISSION REGULATION (EC) No 244/2009 of 18 March 2009, Implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps
- [6] COMMISSION REGULATION (EC) No 245/2009 of 18 March 2009, Implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for fluorescent lamps without integrated ballast, for high intensity discharge lamps, and for ballasts and luminaires able to operate such lamps, and repealing Directive 2000/55/EC of the European Parliament and of the Council.
- [7] 海宝幸一, 光ダクトによる自然光利用, 照明学会誌, **88**(10), 788 – 792 (2004)
- [8] Brainard, G. C. et al., Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence for a novel circadian photoreceptor, *J. Neuroscience*, **21**(16), 6405-6412 (2001)
- [9] Thapan, K. et al., An action spectrum for melatonin suppression: Evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans, *J. Physiology*, **535**(Pt1), 261-267 (2001)
- [10] 中村洋他, 建築空間における昼間の光環境の動的変動に関する研究 その 2 オフィス空間の昼光環境について, 照明学会誌, **81**(2), 158 – 168 (1997)
- [11] 照明学会編, “大学課程 照明工学 (新版)“, オーム社, pp. 59 – 60 (2011)
- [12] Sasaki, M., S. Takeshita et al., Ground-based observation of biologically active solar ultraviolet-B irradiance at 35°N latitude in Japan, *J. Geomag. Geoelectr.*, **45**, 473-485 (1993)

■第 236 回総合科学技術研究所談話会

日 時：2010年7月20日(火) 15:00～16:00

テーマ：「布による太陽紫外線防御効果」

所 属：総合科学技術研究所 准教授 竹下 秀

太陽紫外放射から人の皮膚を守る手段として、衣服の着用やサンスクリーンの塗布が考えられる。本研究では、衣服の材料である布に着目し、その紫外放射防御能を評価した。

布の紫外放射防御能は、素材、織そして色の影響を受ける。ポリエステル布は、その素材の特性により、綿布やナイロン布と比較すると優れた紫外放射防御能を有することが明らかになった。織としては凹凸織が紫外放射防御能に優れている。また、黄色い染色布は、他色で染めた布と比較すると優れた紫外放射防御能を示すことを明らかにした。さらに、プラスミド DNA 鎖切断を指標とした新しい UV-A 紫外放射（波長 315 nm - 400 nm）に対する防御能の指標を提案する。

■第 237 回総合科学技術研究所談話会

日 時：2010年10月5日(火) 15:00～16:00

テーマ：「将来型多点点火リーンバーンエンジン」

所 属：総合科学技術研究所 教授 林 義正

人間の生活に必須の要件として衣食住があるが、さらに生活を豊かにするためには「動」を欠かすことはできない。そして日常の生活における移動手段である自動車を手放すことは難しい。その動力源としてまだ主流であるエンジンの熱効率の改善は、自動車の恩恵を享受し続けるに急務となっている。1876年にドイツのニコラス・アウグスト・オットーが4サイクルエンジンを発明し、社会のニーズに対応してさまざまな技術が開発され発展してきた。エンジンの誕生と同時に出力と燃費の向上が求められた。1960年代になると米国のマスキー法で象徴されるように排気の清浄化が緊急の課題となった。さらに、環境負担を軽減するため二酸化炭素の排出低減が急務となり、新たな角度から燃費の抜本的な改善技術が開発されている。その中でシリンダー内の混合気に中央部を濃く、周囲にいくにしたがって薄くなるように層状に濃淡をつけて、濃いところに点火する成層燃焼によるリーンバーンエンジンがある。シリンダー内のガスを平均的に見れば薄いですが、濃いところから燃焼するため期待どおりの燃費を実現するのが難しかった。また、点火プラグやエンジンオイルの汚損など実用上の問題があった。これに対し均等に混合した希薄混合気を急速に燃料させた究極の低燃費エンジンへの発展性を秘めた技術を開発した。

■第 238 回総合科学技術研究所談話会

日 時：2010年10月5日(金) 15:00～16:00

テーマ：「電気推進用完全無電極プラズマ加速法実現への挑戦」

所 属：総合科学技術研究所 教授 谷川 隆夫

H-II ロケット（化学推進）の様な瞬時の大推進力は出せないものの、一度宇宙空間に出てしまえば比推力の大変大きい（即ち、燃費の非常に良い）電気推進機（プラズマロケットエンジン）は、これからの宇宙開発に欠かせない推進機である。

ところが、これまでに開発・実用化されているモデルはプラズマと直接接触する電極の損耗により寿命が制限されている。これでは燃費の良さを十分に生かしきれない。我々は、この問題を完全に解消する完全無電極型電気推進機の実現へ向け、現在基礎開発研究を行っている。

■第 239 回総合科学技術研究所談話会

日 時：2010年12月21日(火) 10:30～11:30

テーマ：「高速度ビデオでの運動解析プログラムの開発」

－OpenMP と MPI を用いた相関計算並列化によるトレース高速化－

所 属：総合科学技術研究所 教授 横山 直樹

高速度ビデオ記録装置で得られた動画像を対象とし、興味のある対象あるいはその部位が、時間とともにどのように変位していくかをコンピュータを用いて解析するプログラムを開発している。対象部位の位置をサブピクセルの精度で求めるためには、画像の一致度を計算する必要があり、対象部位をとりまく画素数が大きい場合や部位の数が多い場合には、最新のコンピュータを用いても計算負荷が重く、処理時間がかかる。この画像の一致度は相互相関係数を求めることで評価するが、計算を工夫することで並列化が可能である。具体的には複数のホストを高速ネットワークで接続し、処理を分散することで高速化を行う手法として MPI がスーパーコンピュータを中心に使われている。また単一ホスト上でも複数のコアを活用する OpenMP が用いられている。場合によってはこれら二つが併用されることもある。今回はこの OpenMP と MPI について、PC から最新のスーパーコンピュータ上での具体的な使用例について検討する。

東海大学 総合科学技術研究所 紀要編集委員会

- 委員長 **渡邊 幹夫** 総合科学技術研究所 所長
理学部化学科 教授
- 委員 **横山 直樹** 総合科学技術研究所 教授
- 事務局 **鈴木 妙子** 研究支援・知的財産本部
研究支援課（総合科学技術研究所担当）

本紀要の全ての掲載情報は、著作権者の許諾なしに、著作物の全部または一部を無断で複製（コピー）することは、著作権法上での例外を除き、禁じられています。



東海大学紀要 総合科学技術研究所

発行日 2012年3月31日
発行人 渡邊 幹夫（東海大学総合科学技術研究所 所長）
発行 東海大学総合科学技術研究所
住所 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目四丁目1番1号
電話 0463-58-1211（代表）
