

空気砲を応用した「えあむすび」の製作

山本修平^{†1} 上岡玲子^{†1}

神社でのお参りという動作は参拝者からの一方通行のコミュニケーションであり、神様からの返事がないため願いが届いているかどうかの実感が湧きにくい。そこで参拝者の動作に応じて空気砲による線香の煙の渦輪を射出することにより、視覚・嗅覚・触覚によるインタラクティブなコミュニケーションを実現する。具体的には、空気砲を2台並べて発射すると、渦輪が相互干渉して合体や反発などの動作を行うことが明らかになっているため、この動作を制御するための物理的パラメータ条件を明らかにし、相性チェックを目的としたおみくじゲームとして「えあむすび」を提案する。本論文ではシステムを実現するための渦輪動作制御の基礎的検討を行うとともにシステムの実装を行った。

“Air Musubi” Pray System Using Vortex Air Cannon

SHUHEI YAMAMOTO^{†1} RYOKO UEOKA^{†1}

Act of worship at the shrine is usually a one-way communication from the worshipers. So whether their wishes are reached to God is hard to feel because there is no specific answer from it. So we propose a novel interactive pray system called Air Musubi. By generating the adequate pattern of vortex ring with the smoke of the incense aroma according to a worshiper's praying interaction, visual, olfactory and tactile feedback is realized. And this may produce pseudo communication with God. For generating the pattern of vortex air cannon, we use two air cannons placed side by side and vortex rings shot by each air cannon make various patterns of air such as merging air ring or repelling air ring. We define five patterns of vortex rings and adapt them as special meaning of couple matching fortune telling in order to make the interaction. In this paper we performed a basic experiment to determine the parameters of controlling the pattern of double vortex rings and implemented the system.

1. はじめに

神社において参拝者がする「お参り」は、一方通行のコミュニケーションである。参拝者は賽銭を投げる、鐘を鳴らす、札と拍手をする、お祈りをして願い事をする、という多くの動作をしているのにも関わらず、神様側からのフィードバックは皆無である。これでは、本当に自分の願いを聞き入れてくれているのかという実感が湧きにくい。

そこで、フィードバックの手段として渦輪に着目した。渦輪の利点として、視覚・嗅覚・触覚に関する情報を伝達することが可能であることが挙げられる [1] [2] [3]。

また、渦輪を2つ並進させると相互作用がおき、様々な挙動をすることが知られている[4]。合体・反発・消滅・干渉等が確認されており、それぞれの挙動に応じて、合体したら良縁、反発したら不仲等のメッセージを持たせることで、おみくじのような運試しゲームとしての活用も可能となり、インタラクティブなお参りシステムが創出できる。

本論文では、システムの実装のための基礎検討として2つの渦輪を並進させた際の挙動を観察し、その結果を基にシステムの実装を行った。

2. システム概要

お参りを題材としたインタラクティブコンテンツの例

として、イノラレがある[5]。これは絵馬と賽銭を模したRFID タグと拍手音による入力情報を与えると、就職活動のお祈りメールの文面を表示するというものである。この作品の要点は、お参りの動作に対してフィードバックを返すという点であるが、本システムにおいてもお参りの動作に対して渦輪をフィードバックとして返すことはユーザーの興味を引く効果があると期待される。

また、もう一つの特徴として、視覚・嗅覚・触覚についての複合的な感覚をフィードバックとして返すことが挙げられる。ユーザーの入力に対して複数の感覚についてのフィードバックを返すことの有効性を示したインタラクティブコンテンツの事例として、國安らによる、とっくりから酒を注ぐ際の感覚を再現する装置についての研究がある[6]。とっくりを模した装置を傾けるといいう入力を行うと、「トクトク」という音のみならず、液体が流れ出る際に生じる振動によるフィードバックを返す。これにより、入力に対して的確な抵抗感が返ってくるという達成感を与えることができ、ユーザーの主観的なリアリティを高めることができる。と述べられている。ここから、お参りシステムにおいても複合的な感覚をフィードバックすることで目に見えない神様からの返信をもらっているような主観的なリアリティを高めることが期待できる。

本研究は図1のようなシステムを構築することを目標とする。PCとArduinoにより電磁弁を制御し、平行に並べた2台の空気砲を発射することで渦輪によるフィードバック

^{†1} 九州大学 Kyushu University

を返す。空気砲にためる圧縮空気の圧力を変えることで渦輪の挙動を変えることができ、様々なメッセージを表現することが可能になる。

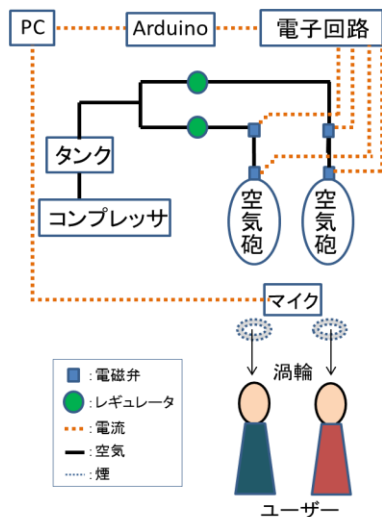


図 1 システム全体図

Figure 1 overall view of the system

3. 並進渦輪の相互作用とその定義

渦輪を並進させるとそれぞれの渦輪の間の圧力が下がるため、引き合って接近する[7]。接近した渦輪は相互に作用しあい、様々な挙動をする。

実験により様々な条件で渦輪を射出してぶつけた結果、5種類の挙動が確認された。以下に、それぞれの挙動に関する画像と定義を示す。

また、お参りシステムで使用するメッセージとして、各挙動から読み換えられるメッセージについて示す。

①合体

【定義】

2つの渦輪が結び付き、1つの大きな渦輪となる。縦横に歪みながらゆっくりとしたスピードで進む。

メッセージ：良縁



図 2 合体の様子（横・正面）

Figure 2 merging of vortex rings (side / front view)

②反発

【定義】

2つの渦輪が接近するが、つなぎかえがおきずに互いはじきあう。それぞれ左右に逸れて進む。

メッセージ：不仲

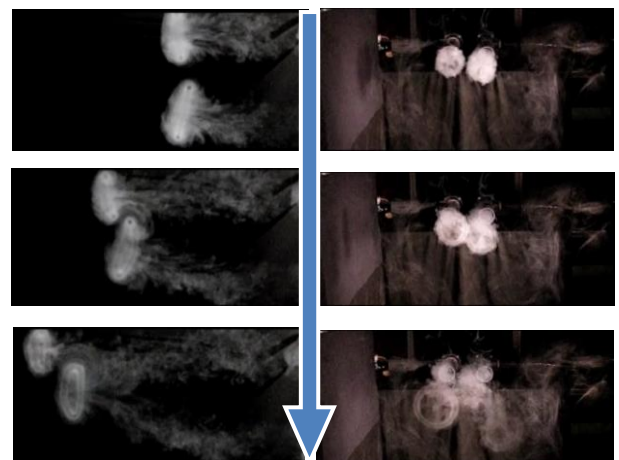


図 3 反発の様子（横・正面）

Figure 3 repelling of vortex rings (side / front view)

③消滅

【定義】

2つの渦輪が接近し、衝突した結果、渦輪が壊れる。

メッセージ：自然消滅

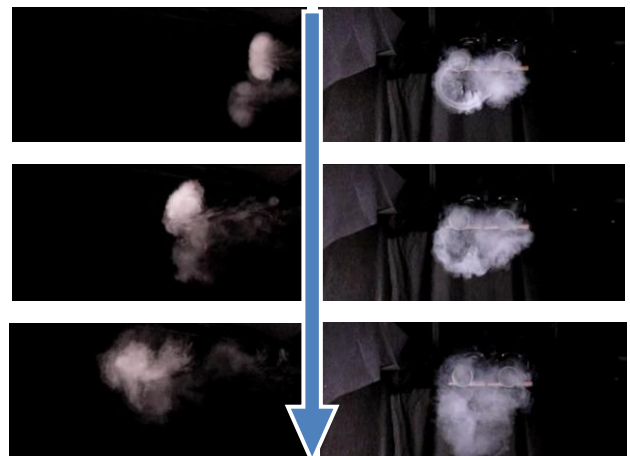


図 4 消滅の様子（横・正面）

Figure 4 disappearance of vortex rings (side / front view)

④片方消滅

【定義】

2つの渦輪が接近し、衝突した結果、片方の渦輪が壊れる。

メッセージ：片方の気持ちが消える

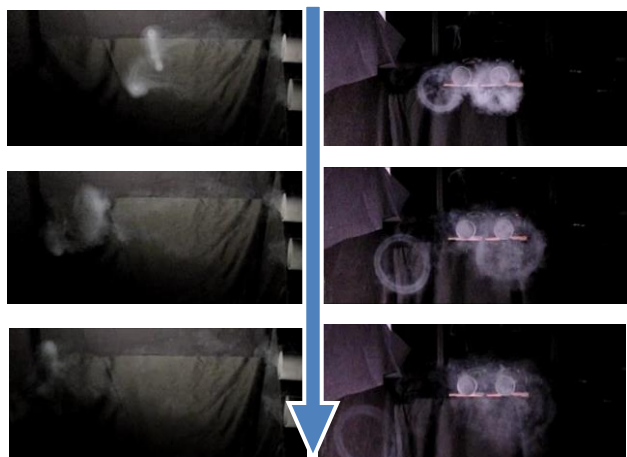


図5 片方消滅の様子（横・正面）

Figure 5 disappearance of one vortex ring (side / front view)

⑤不干涉

【定義】

互いに影響し合わず、直進する。

メッセージ：無関心

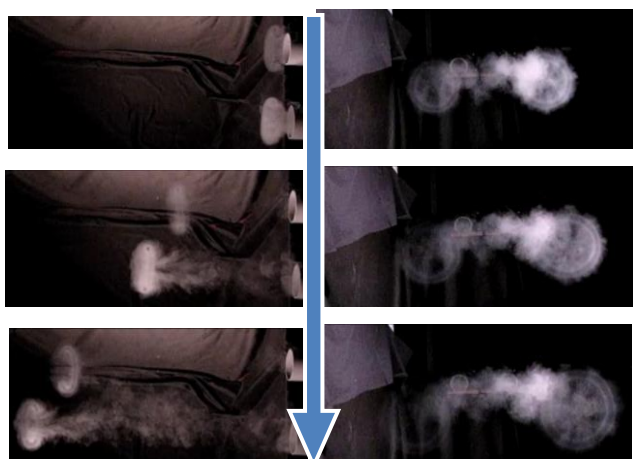


図6 不干涉の様子（横・正面）

Figure 6 Non-interference of vortex rings (side / front view)

4. 並進渦輪の挙動の制御

お参りシステムを実現するためには、3で示した5通りの挙動を表現できるようにする必要がある。

そこで、並進渦輪の相互作用に関する文献を参考に、空気砲を2台並べて2つの渦輪を同時に発射した際の挙動について実験を行った。

挙動に影響を与えるものとして、まず、渦輪が放出される際のインパルス量が挙げられる[8]。

また、発射口の間隔と速度も挙動に関係している[4]。間隔が狭すぎるとそもそも渦輪が形成されず、逆に広すぎると干渉せずに相互作用がおきないため、最適な間隔を求める必要がある。速度は渦輪が接近する際の水平方向の速度差が関係している。

以上から、1.インパルス量、2.発射口の間隔、3.速度をパラメータとし、条件を変えて並進する渦輪の相互作用について実験を行った。

4.1 左右が同じ圧力の場合の相互作用実験

実験をするために図8のような空気砲を2台製作した。コンプレッサから送られてくる空気をタンクに貯め、ダイヤフラムバルブを開放することで圧縮した空気を放出し、発射管を通す。これにより、押し出された空気が発射管の円形の断面を通ることで渦を巻き、渦輪が生成される[9]。

設計に当たっては、先行研究から、発射管の長さは渦輪を十分に生成できる40cmとした。また、発射口の大きさは人の顔の大きさ程の渦輪が生成できる7cmとし、タンクの容量は1077cm³とした[9]。ダイヤフラムバルブはSMC社のVXF23を使用しているが、一方のバルブのシール部の空気の漏れが大きかったため、ゴムリングにて補修をした。そのため、生成される渦輪に影響する恐れがあったが、ひとまずは大まかな傾向を調べることが目的であったので、構成の異なる2つの空気砲で実験を行った。



図7 製作した空気砲

Figure 7 vortex air cannon version1

パラメータ条件として、インパルス量と速度を制御するパラメータとして圧力値を変化させる。それぞれの発射口

の中心間の間隔についても変化させる．圧力値については 5 通り，0.04,0.055,0.07,0.085,0.1 [MPa]，発射口の間隔に関しては 3 通り，14,17.5,21[cm]，合計 $5 \times 3 = 15$ 通りについて各 20 試行ずつ渦輪の挙動を観測した．実験風景を図 8 に示す．

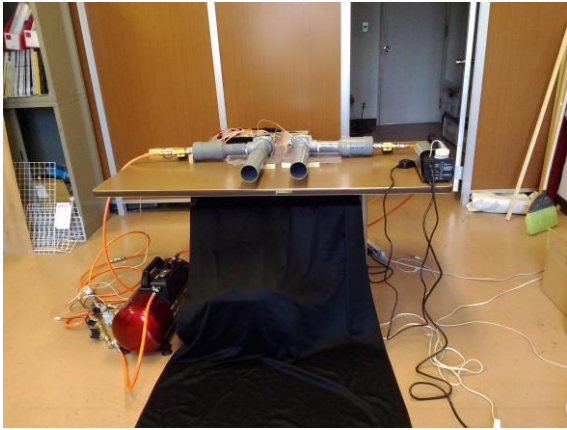


図 8 実験風景

Figure 8 landscape of the experiment

実験結果を表 1 に示す．発射口の間隔と圧力値別に渦輪挙動の生成回数を数えた．

14cm	0.04MPa	0.055MPa	0.07MPa	0.085MPa	0.1MPa
合体	10	3			
反発	7	1			
消滅	3	15			
片方消滅		1			
不干涉					
その他			20	20	20

17.5cm	0.04MPa	0.055MPa	0.07MPa	0.085MPa	0.1MPa
合体	14	5			
反発	6	2	2		
消滅		8			
片方消滅		1			
不干涉				20	20
その他		4	18		

21cm	0.04MPa	0.055MPa	0.07MPa	0.085MPa	0.1MPa
合体	5				
反発	3	9			
消滅	1				
片方消滅		5			
不干涉		1	18	20	20
その他	11	5	2	0	0

表 1 実験結果

Table 1 experimental result

結果より，発射口の距離と圧力を変えると表現できる挙動が変わることが確認された．

不干涉に関しては，圧力が高い場合に多くみられる．渦輪同士の横へ引き合う力に比べて前へ進む力の方が大きいために生じたと考えられる．

消滅は，0.055MPa で，発射口の間隔が広くない場合に多く見られる．これは，干渉した際の衝撃が大きいために，つなぎかえがおきる前に壊れてしまったからだと考えられる．

片方消滅は，0.055MPa で，発射口の間隔が広い場合に見られる．追い越しの形で渦輪が前後に位置した後，前の渦輪が後ろの渦輪から押されることで前の渦輪だけが壊れる．

合体と反発に関しては 0.04MPa のときに多く見られる．互いに引かれあい，干渉した際に消滅しないという条件を満たしたためだと考えられる．これらの挙動の結果を制御するためには，2 つの渦輪の相対速度を制御することが重要だと考えられる．

合体に関しては，2 つの渦輪がほぼ同じ速度で近づく場合に生じる．2 つの渦輪が衝突した結果つなぎかえがおき合体する．

反発に関しては，少しの速度差がある場合に生じる．接近した際に互いに前後に位置した状態で衝突するため，つなぎかえがおきないが，微妙に衝突するため反発する．

4.2 左右で圧力が異なる場合の相互作用実験

合体と反発を決定する要因として微妙な速度差が重要であることがわかった．そこで，左右で圧力値を変えて速度差を変えた場合の実験を行った．この実験では空気の漏れが少ない SMC 社 VXZ260 のバルブを使用し，図 9 のような空気砲を新たに製作して実験を行った．

条件としては，4.1 の結果から発射口の間隔 17.5[cm]，片方の圧力を 0.045[MPa]で固定，もう片方を 5 通り，0.04,0.043,0.045,0.047,0.05[MPa]の間で変化させ，各 50 試行ずつ観察した．

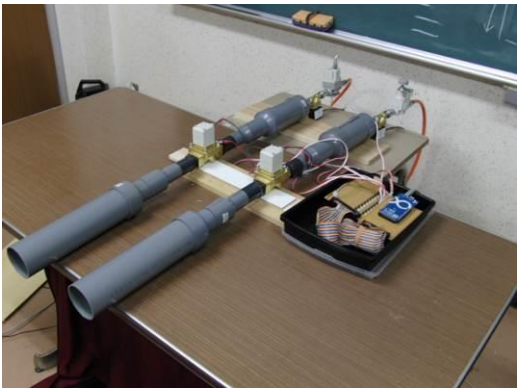


図 9 新たに製作した空気砲

Figure 9 vortex air cannon version2

	0.04MPa	0.043MPa	0.045MPa	0.047MPa	0.05MPa
合体	2	4	17	25	2
反発	6	17	21	2	16
消滅	14	20	8	22	23
片方消滅	1	3	4	1	1
干渉	26	6	0	0	8
その他	1	0	0	0	0

表 2 実験結果

Table 2 experimental result

実験の結果を表 2 に示す．圧力差を微妙に変えても渦輪の挙動を確実に制御することはできなかった．しかしながら圧力値ごとにある程度の傾向はでており，5 種類全ての挙動が表現できている．また，0.043, 0.045, 0.047[MPa] の 3 つの圧力においては，合体・消滅・反発がほぼ 3 分の 1 ずつの確率で発生するため，結果が予測されないことによる面白さを演出することができる．よって，システムを実装するにあたってはこの条件を基に設計する．

5. システムの実装

基礎実験結果を基にシステムの実装を行った．概要を図 10，写真を図 11 に示す．

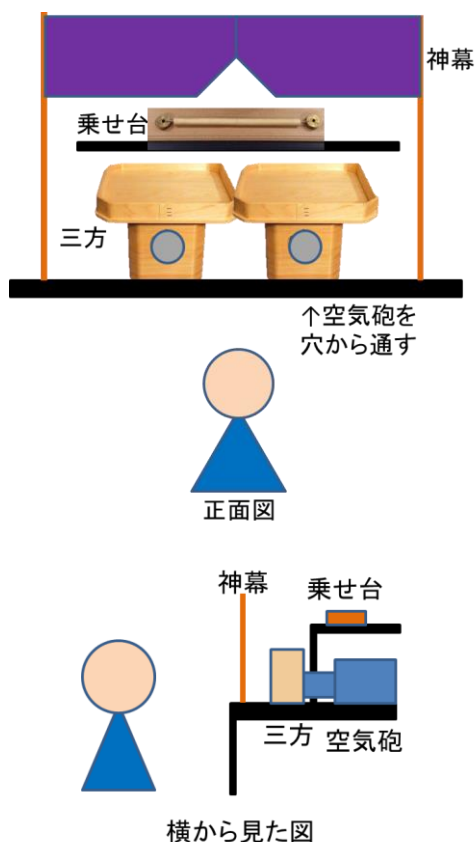


図 10 実装したシステムの概要（正面・横）

Figure 10 schematic of implemented system (front / side view)

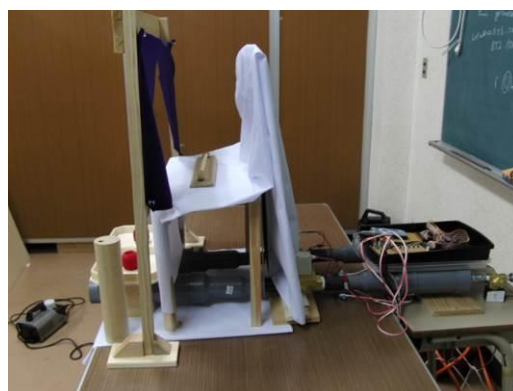


図 11 実装したシステム（正面・横）

Figure 11 implemented system (front / side view)

システムの仕組みはほぼ図 1 に示した通りだが，ユーザーからの入力要素として，抵抗値の異なる抵抗を内蔵した棒おみくじとそれを乗せるための台とを製作し，電空レギュレータによる空気圧制御を組み込んだ．これはユーザーが引いた棒おみくじの結果によって空気圧を変化させることが目的である．仕組みとしては，ユーザーに抵抗付きの棒おみくじをひいてもらい，それを台に置いてもらう．すると置かれた抵抗値によって，直列につないだ電空レギュレータへの入力電圧が変わる．電空レギュレータは SMC 社の ITV2000 を使用しており，空気圧を入力電圧に比例して制御することができる．片方の圧力は 0.045[MPa] で固定し，もう片方の圧力が，0.04, 0.043, 0.044, 0.045, 0.046, 0.047, 0.05[MPa] となるような抵抗を使用した．棒おみくじと台の写真を図 12 に，説明図を図 13 に示す．



図 12 棒おみくじと乗せ台

Figure 12 bar-omikuji and pedestal

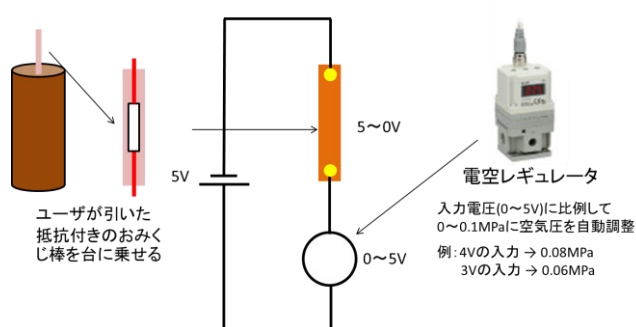


図 13 電空レギュレータによる空気圧制御

Figure 13 control of air pressure due to electro-pneumatic regulator

システムを使用する際の流れは以下の通りである。

- ①ユーザーに棒おみくじを引いてもらい、台に置いてもらい、ためる空気の圧力を決定する
- ②二礼二拍手一札の動作をしてもらい、拍手音が入力されたら発射動作に移る
- ③渦輪が発射され、占い結果としての渦輪の挙動から恋占いの結果を確認する。

6. おわりに

本稿では、並進する渦輪の挙動を利用したインタラクティブなお参りシステムを製作した。

現在は渦輪を可視化するためにフォグマシンを手動で操作しているが、今後は線香の煙を自動で供給するシステムを実装し、より本物の神社に近い演出を行いたい。

謝辞 本研究は科研費「生体情報制御のための空気玉による触覚提示と触覚デザインの研究」(25350016)の一部助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 徳田雄嵩, 西村邦裕, 鈴木康広, 谷川智洋, 廣瀬通孝, “渦

輪を用いたフォグスクリーンに関する基礎的検討,”2008 ヒューマンインタフェース学会研究報告集, 10(4),pp.11-16,Nove.2008.

- [2] 柳田康幸, 野間春生, 伴野明, 鉄谷信二, “非装着かつ局所的な香り提示手法に関する検討,”電子情報通信学会技術研究報告 MoMuC モバイルマルチメディア通信, 102(443),pp87-92,Nove.2002
- [3] 橋口哲志, 高森文子, 上岡玲子, 竹田仰, “空気砲による風圧型顔面触覚ディスプレイの印象評価,”ヒューマンインタフェース学会論文誌, 14(1-4),pp303-310,May.2012
- [4] 足利昌俊, 荻野ゆりか, 高橋麻美, 湊茂治, 安藤公一, 工藤清, 清水寛正, 松原朋昭, 村井祐一, “並進渦輪の相互作用,”可視化情報学会誌, 21(2),pp71-72,Sept.2001
- [5] 小林功介, 辻本拓也, 安本匡佑, 羽田久一, 太田高志, “不採用通知メールを題材とした就職難という世相を表現するインタラクティブコンテンツ,”情報処理学会 全国大会講演論文集, 2013(1), pp207-209,Mar.2013
- [6] 國安裕生, 福嶋政期, 古川正紘, 梶本裕之, “液体を注ぐ際の心地よさに着目した触覚ディスプレイの提案,”エンタテインメントコンピューティング 2010,Oct.2010
- [7] 津代久子, 矢部彰, 古澤能政, 笹本明, バイブリチチゴ, 今村博, 木枝香織, “2つの渦輪の切りつなぎ現象の発生機構,”ながれ:日本流体力学会誌, 17(4),pp279-287,Aug.1998
- [8] 大島裕子, 阿阪三郎, “二つの渦輪の干渉 (連続体力学における非線型方程式の近似解法),”数理解析研究所講究録, 0218,pp54-63,Aug.1974
- [9] 鶴山のぞみ, 張 帥, 山本修平, 竹田仰, “空気砲を用いた触覚ディスプレイの小型化と制御に関する研究,”日本バーチャルリアリティ学会第 16 回大会論文集, 33E-5,Sept.2011