



TOHOKU
UNIVERSITY

ISSN 0286-7419

東北大学
サイバーサイエンスセンター

大規模科学計算システム広報

SENAC

Vol.51 No.4 2018-10



Cyberscience
Center

Supercomputing System
Tohoku University

www.ss.cc.tohoku.ac.jp

大規模科学計算システム関連案内

<大規模科学計算システム関連業務は、サイバーサイエンスセンター本館内の情報部情報基盤課が担当しています。>

<http://www.ss.cc.tohoku.ac.jp/>

階	係・室名	電話番号(内線)* e-mail	主なサービス内容	サービス時間
				平日
一階	利用相談室	022-795-6153 (6153) sodan@cc.tohoku.ac.jp	計算機利用全般に関する相談	8:30~17:15
		相談員不在時 022-795-3406 (3406)	大判プリンタ、利用者端末等の利用	8:30~21:00
	利用者談話室	(3444)	各センター広報の閲覧 自販機	8:30~21:00
	展示室(分散 コンピュータ博物館)	見学をご希望の方は、共同利用支援 係までご連絡ください	歴代の大型計算機等の展示	9:00~17:00
	可視化機器室	(3428)	三次元可視化システムの利用	9:00~21:00
三階	総務係	022-795-3407 (3407) som@cc.tohoku.ac.jp	総務に関すること	8:30~17:15
	会計係	022-795-3405 (3405) kaikai@cc.tohoku.ac.jp	会計に関すること、負担金の請求に関すること	8:30~17:15
	共同利用支援係 (受付)	022-795-3406 (3406) 022-795-6251 (6251) uketuke@cc.tohoku.ac.jp	利用手続き、利用相談、講習会、ライブラリ、見学、アプリケーションに関すること	8:30~17:15
	共同研究支援係	022-795-6252 (6252) rs-sec@cc.tohoku.ac.jp	共同研究、計算機システムに関すること	8:30~17:15
	ネットワーク係	022-795-6253 (6253) net-sec@cc.tohoku.ac.jp	ネットワークに関すること	8:30~17:15
	情報セキュリティ係	022-795-3410 (3410) i-security@grp.tohoku.ac.jp	情報セキュリティに関すること	8:30~17:15
四階	研究開発部	022-795-6095 (6095)		
五階	端末機室	(3445)	PC 端末機(X 端末)	8:30~17:15

* () 内は東北大学内のみの内線電話番号です。青葉山・川内地区以外からは頭に 92 を加えます。

本誌の名前「SENAC」の由来

昭和 33 年に東北地区の最初の電子計算機として、東北大学電気通信研究所において完成されたパラメロン式計算機の名前で SENAC-1 (SENdai Automatic Computer-1) からとって命名された。

[共同研究成果]

忍者アレーアンテナ -後方散乱の小さいフェーズドアレーアンテナ-

今野 佳祐[†], 陳 強[†]

東北大学大学院工学研究科 通信工学専攻[†]

1 まえがき

フェーズドアレーアンテナは、数十年に亘って大きな注目を集めてきた [1]-[4]。ふつう、フェーズドアレーアンテナの大半は周期的アレーアンテナであり、数百～数千の同一の素子から成る。その結果、フェーズドアレーアンテナの後方散乱は非常に大きくなってしまふ。フェーズドアレーアンテナの後方散乱の低減は重要な課題であり、これまで多くの試みがなされてきた。

レドームは、フェーズドアレーアンテナの後方散乱を低減するのに効果的なことが知られている。周波数選択板 (Frequency selective surface, FSS) から成る帯域通過レドームは、フェーズドアレーアンテナの後方散乱を低減する技術としてよく知られている [5], [6]。帯域通過レドームは、フェーズドアレーアンテナの動作を妨げないように、その動作周波数帯域内の電磁波に対して透明になるように設計される。その一方、フェーズドアレーアンテナの動作周波数帯域外の電磁波に対しては、帯域通過レドームは不透明になる。接続部に導体の線を用いた A-Sandwich 型のレドームの透過性能が明らかにされてきた [7]。厚みのある小形円錐形状の C 帯 FSS レドームや、透過帯域よりも上の帯域の入射波を吸収することのできる FSS レドームがそれぞれ提案されてきた [8], [9]。これらのレドームは、フェーズドアレーアンテナの動作周波数帯域外での後方散乱の低減を可能にする。しかしながら、フェーズドアレーアンテナをこのような帯域通過レドームで覆ったとしても、その動作周波数帯域内での後方散乱は高いままである。

電磁波吸収体 (Radar absorbing material, RAM) はフェーズドアレーアンテナの後方散乱を低減する可能性のあるもう 1 つの技術である。抵抗性のシートを用いた吸収体が、マイクロ波帯およびミリ波帯でそれぞれ提案されてきた [10], [11]。酸化亜鉛結晶の無数の針から成る微細構造や多層プラズマから成るステルス構造が提案されてきた [12], [13]。このような電磁波吸収体の欠点は、フェーズドアレーへの入射波のみならず、その放射波も吸収してしまう点であり、これはフェーズドアレーアンテナの性能劣化につながりかねない。さらに、フェーズドアレーアンテナは大電力を扱うことから、電磁波吸収体から発生する熱の問題も深刻である。

ランダム性により後方散乱を低減する試みもなされてきた [14], [15]。ランダムに配置された散乱体によって覆われたフェーズドアレーアンテナの後方散乱は、その動作周波数帯で低減され得る。しかしながら、このような構造ではフェーズドアレーアンテナからの放射波も同時に低減されてしまふ。我々の知る限りにおいて、動作周波数帯域における性能を維持したまま、帯域内での後方散乱が小さいフェーズドアレーアンテナは実現されていない。

本論文では、低後方散乱のフェーズドアレーアンテナを実現するための新しいアプローチを提

案する．提案アンテナは後方散乱が小さく，他のアンテナによって探知されづらいことから，他者から見えないように行動する日本古来の間諜である忍者になぞらえて，提案アンテナを“忍者アレーアンテナ”と呼ぶ．忍者アレーアンテナは，非同一の素子から成り，各素子の大きさは，その放射特性を維持しながら，アレー全体の後方散乱を低減するように決定される．忍者アレーアンテナの低後方散乱性能は，リフレクトアレーの設計法と似た設計方法で実現される [16]-[22]．また，非同一素子の給電をそれらのアレー素子パターンから得る方法を示す．提案する忍者アレーアンテナの性能が数値シミュレーションによって明らかにされる．

2 忍者アレーアンテナの設計

忍者アレーアンテナは，アンテナとしてのみならず散乱体としても設計される．したがって，寄生素子を有するアンテナやマルチモードアンテナのように，素子としての設計の自由度を複数持つ素子を用いることが望ましい．

アンテナとしての設計で注意すべきことは，各素子が負荷インピーダンスで終端されていること，および素子のインピーダンスが動作周波数帯域内で 50Ω に近いこと，などが挙げられる．したがって，例えば寄生素子を有するアンテナの設計は，アンテナとして望ましいインピーダンス特性を踏まえてその給電素子の長さを予め決めておき，残った自由度で散乱特性を設計するという方法が考えられる．

散乱体としての設計は，リフレクトアレーと同様の方法で行うことができ，その方法は以下のようになる．

1. 忍者アレーアンテナの中心周波数および散乱界の主ビーム方向 (θ_s, ϕ_s) を予め決めておく．
2. 決めた中心周波数において，素子の反射係数 $\Gamma(l)$ を数値シミュレーションで得る．数値シミュレーション手法は，素子間相互結合をどのように考慮するかによっていくつかの種類がある [23]-[25]．

$$\Gamma(l) = \frac{E(\theta = \theta_s, \phi = \phi_s)}{E(\theta = \theta_i, \phi = \phi_i)} \quad (1)$$

ここで， (θ_i, ϕ_i) は平面波の入射角度であり， l は忍者アレー素子の寸法である．

3. 位相の基準となる素子の寸法を任意に選択する．
4. $\Gamma(l)$ とアレーファクタを乗じた値を用いて，散乱界の主ビームが (θ_s, ϕ_s) 方向を向くように，他の忍者アレーアンテナ素子の寸法を決定する．

設計した忍者アレーアンテナは，非同一の素子から成る周期アレーであり，その散乱特性はモーメント法で得られる [35], [36]．

2.1 非同一アレー素子の給電方法

忍者アレーアンテナはフェーズドアレーアンテナとしても動作するため、ビーム走査可能なように非同一素子の給電を決定する必要がある。ここで、各素子の給電はモーメント法を用いたアレー素子パターンから得られる、

モーメント法の行列方程式は以下のように得られる。

$$\mathbf{V} = \mathbf{Z}\mathbf{I}. \quad (2)$$

ここで、 \mathbf{V} は $N \times 1$ の励振ベクトル、 \mathbf{I} は $N \times 1$ の電流ベクトル、 \mathbf{Z} は $N \times N$ のインピーダンス行列であり、 N は未知数の数である。すると、全てのアレー素子電流は (2) 式から以下のように求められる。

$$\mathbf{I}_m = \mathbf{Z}^{-1}\mathbf{V}_m \quad \text{where } m = 1, 2, \dots, M. \quad (3)$$

ここで、 \mathbf{V}_m は $N \times 1$ の給電ベクトルであり、第 m 番目の忍者アレー素子の給電点のみで 1 の値を持ち、その他の部分では 0 の値を持つ。 \mathbf{I}_m はそのような給電ベクトルを与えたときの $N \times 1$ アレー素子電流ベクトルである。 M は忍者アレーアンテナ素子数であり、 K_m を第 m アレー素子に含まれる未知数の数とすると、 $N = \sum_{m=1}^M K_m$ である。

(3) 式から全てのアレー素子電流が求まった後、所望の方向に主ビームを向けるような給電は、アレー素子電界から以下のように求められる。

$$C_m = \frac{E_R(\theta = \theta_r, \phi = \phi_r)}{E_m(\theta = \theta_r, \phi = \phi_r)} \quad \text{where } m = 1, \dots, M. \quad (4)$$

ここで、 $E_R(\theta = \theta_r, \phi = \phi_r)$ および $E_m(\theta = \theta_r, \phi = \phi_r)$ は、それぞれ基準素子と第 m 素子のみが給電されたときのアレー素子電界であり、それらの偏波は忍者アレーアンテナの主偏波である。 θ_r および ϕ_r は主ビーム方向のそれぞれ仰角と方位角である。

最終的に、 (θ_r, ϕ_r) 方向に主ビームを向けるための忍者アレーアンテナの給電ベクトルは以下のように与えられる。

$$\mathbf{V} = \sum_{m=1}^M \mathbf{V}_m(\theta = \theta_r, \phi = \phi_r). \quad (5)$$

ここで、 $\mathbf{V}_m(\theta = \theta_r, \phi = \phi_r)$ は第 m 素子の給電点で C_m の値を持ち、その他の部分で 0 の値を持つ励振ベクトルである。このようにして求めた忍者アレーアンテナの給電ベクトルは、素子間相互結合の影響とアレー全体の電流分布を全て考慮したものである。したがって、この給電ベクトルを用いれば、シングルモードアンテナのように単純な電流分布を持つ素子からなる忍者アレーアンテナのみならず、マルチモードアンテナのような複雑な電流分布を有する素子から成る忍者アレーアンテナのビーム走査も可能になると考えられる。

3 数値計算結果

2章で示された設計法にしたがって、 10×10 素子の忍者アレーアンテナが設計された。アレー素子は LPDA 素子とし、アレー構造は図 1 および図 2 に示すような三角アレーとした。忍者アレー

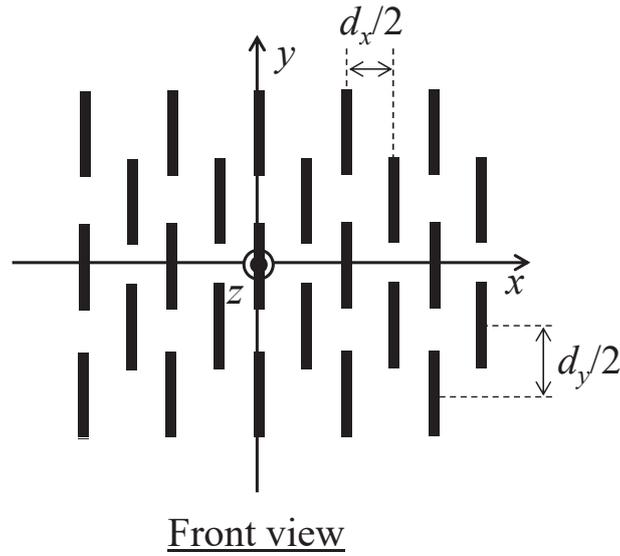


図 1: 対数周期ダイポールアンテナを用いた忍者アレーアンテナ (正面図).

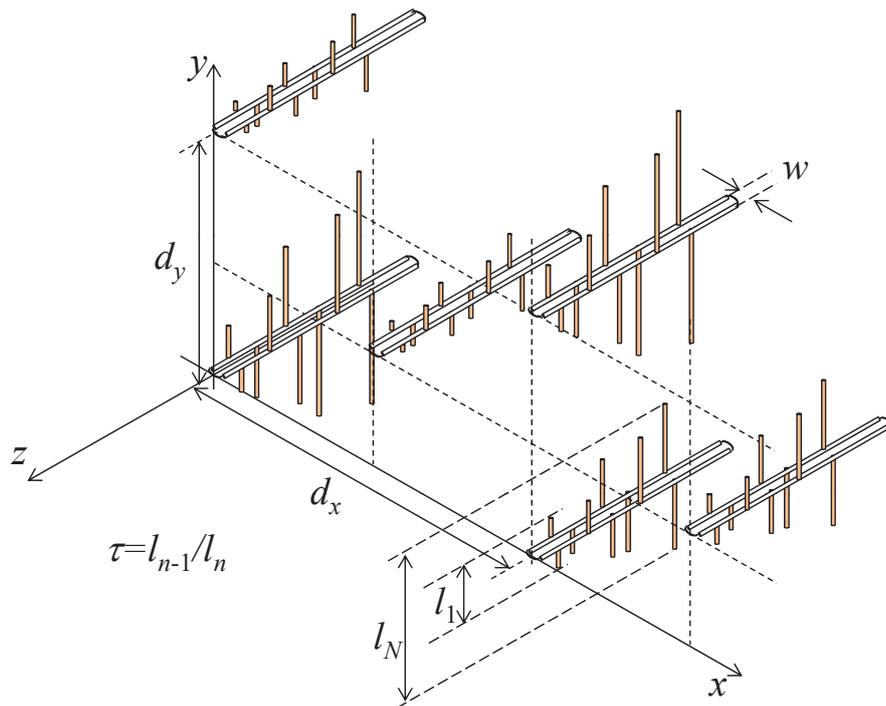


図 2: 対数周期ダイポールアンテナを用いた忍者アレーアンテナ (鳥観図).

アンテナの散乱界の主ビーム方向は $(\theta_s, \phi_s) = (20^\circ, 0)$ とし、動作周波数は 8 GHz とした. 垂直入射の平面波に対する反射係数の数値シミュレーションを行い, LPDA 素子の構造パラメータなどは反射係数の位相変化が線形かつその変化量が 360° を超えるように予め決めておいた.

図 3 に, 垂直入射の平面波に対する忍者アレーアンテナの BRCS(Bistatic Radar Cross Section) パターンを示す. 正面方向の散乱波が弱いのにに対して, $(\theta_s, \phi_s) = (20^\circ, 0)$ 方向の散乱波が強くなっ

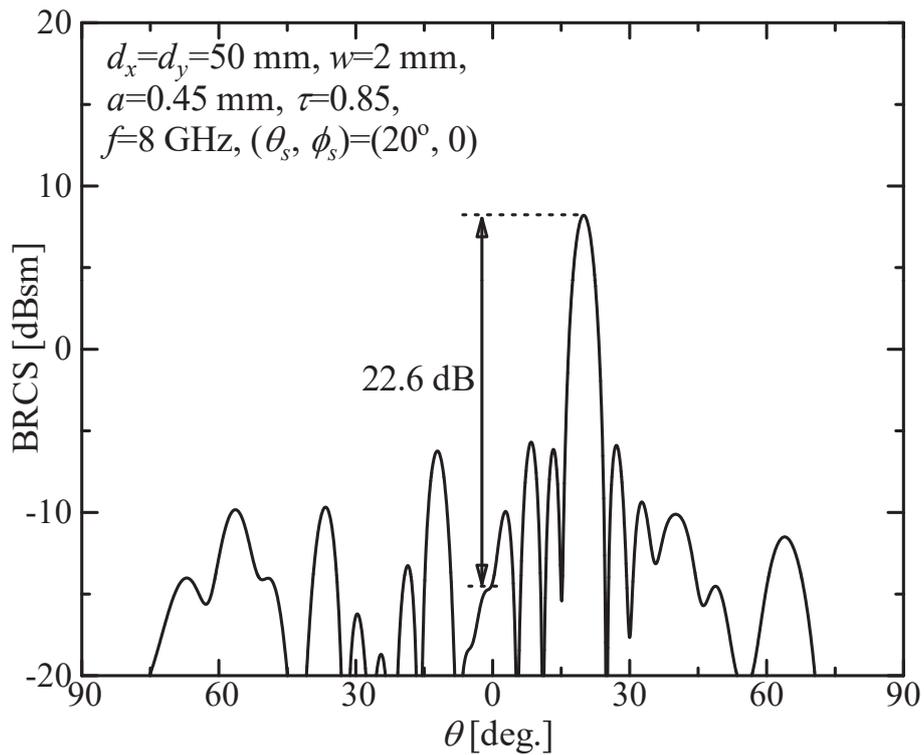


図 3: 忍者アレーアンテナの BRCS パターン (H 面).

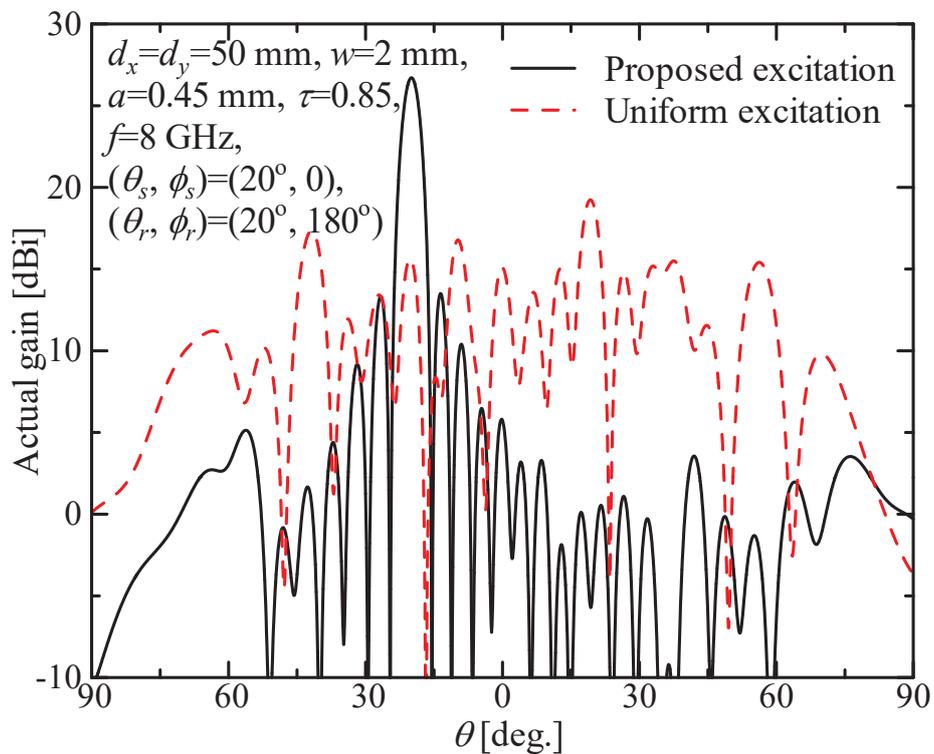


図 4: 忍者アレーアンテナの動作利得パターン (H 面).

ているのが分かる. 一般的なフェーズドアレーアンテナは, 同一素子が周期的に並んでいるので正面方向に散乱波の主ビームが表れるが, 忍者アレーアンテナは非同素子が周期的に並んでい

るので、散乱波の主ビームは正面からずれた方向に現れる。その結果、正面方向の散乱波、すなわち後方散乱が弱くなる。

図4に、忍者アレーアンテナの動作利得パターンを示す。主ビーム方向は $(\theta_r, \phi_r) = (20^\circ, 180^\circ)$ とした。提案法で給電した忍者アレーアンテナは主ビーム方向が所望の方向に向いているのに対し、一様給電にアレーファクタを用いて給電を与えると主ビームが形成できないことが分かる。忍者アレーアンテナのアレー素子は非同一であるので、素子の電流や指向性関数も非同一である。その結果、アレーファクタを用いた給電のように、素子間隔とビーム方向に応じた線形な位相シフトを各素子に与えても所望の方向に主ビームを形成できない。その一方で、提案法はアレーエレメントパターンを用いて各素子の給電を行っている。アレーエレメントパターンには、素子の電流や指向性関数、素子間相互結合の情報が全て含まれているので、所望の方向に主ビームを形成するために必要な位相シフトを生み出すことができる。

以上の数値シミュレーションは、東北大学サイバーサイエンスセンターのスーパーコンピュータSX-ACEを用いて行った。プログラムは高速化のためのベクトル化チューニングを施しており、そのベクトル演算率は99.6%であった。一般的なパソコンで同じシミュレーションを行うと数時間程度の計算時間がかかるが、SX-ACEのベクトル演算機能により、計算時間は2分程度と大幅に短縮された。

4 まとめ

本章では、後方散乱の小さい新しいフェーズドアレーアンテナである忍者アレーアンテナが提案された。忍者アレーアンテナは、非同一の素子から成るアレーアンテナであり、リフレクタアレーと同様の方法で設計ができる。その結果、同一の素子から成る一様アレーアンテナと比較すると、忍者アレーアンテナはその動作周波数帯域内における後方散乱が小さくできる。また、非同一素子から成る忍者アレーアンテナのための給電ベクトル計算法も新たに提案された。提案法はアレー素子電界に基づく方法であり、得られる給電ベクトルを忍者アレーアンテナに与えると、所望の方向に主ビームを向けることができる。マルチモードの対数周期ダイポールアレー素子から成る忍者アレーアンテナの有効性が数値シミュレーションされ、その低い後方散乱特性とビーム走査性が明らかにされた。

本章は、フェーズドアレーアンテナの後方散乱を低減する新しいメカニズムに焦点を絞っており、議論すべき重要な問題のいくつかが残ったままである。例えば、フェーズドアレーアンテナは移相器や増幅器、ケーブル、本章では無視してきた様々なマイクロ波デバイスを含む。このようなマイクロ波デバイスは、忍者アレーアンテナの特性にネガティブな影響を与える可能性があり、それらを考慮した忍者アレーアンテナの設計法およびその特性の解明は将来の課題である。加えて、本章では忍者アレーアンテナの性能が数値的に示されたが、実験的にその性能を明らかにすることも課題であるので、将来的には試作と測定を行う予定である。

謝辞

本研究成果は、東北大学サイバーサイエンスセンターのスーパーコンピュータ SX-ACE を用いて得られたものである。スタッフをはじめ、関係各位に深く感謝する。

参考文献

- [1] Y. Konishi, “Phased array antennas,” IEICE Trans. Commun., vol. E86-B, no.3, pp. 954-967, March, 2003.
- [2] M. Ando, “Planar waveguide arrays for millimeter wave systems,” IEICE Trans. Commun., vol. E93-B, no.10, pp. 2504-2513, Oct., 2010.
- [3] R.C. Hansen, Phased Array Antennas, John Wiley & Sons, 1998.
- [4] R.J. Mailloux, Phased Array Antenna Handbook, Artech House, Boston, London, 1994.
- [5] B. A. Munk, Frequency Selective Surfaces Theory and Design, Jon Willey & Sons, 2000.
- [6] B. A. Munk, Finite Antenna Arrays and FSS, Jon Willey & Sons, 2003.
- [7] Y. Inasawa, T. Nishimura, J. Tsuruta, H. Miyashita, and Y. Konishi, “Using conducting wire at A-sandwich junctions to improve the transmission performance of radomes,” IEICE Trans. Commun., vol.E91-B, no.8, pp. 2764-2767, Aug. 2008.
- [8] B.-Q. Lin, F. Li, Q.-R. Zheng, and Y.-S. Zen, “Design and simulation of a miniature thick-screen frequency selective surface radome,” IEEE Wireless Propag. Lett., vol. 8, pp. 1065-1068, 2009.
- [9] F. Costa, and A. Monorchio, “A frequency selective radome with wideband absorbing properties,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 60, no. 6, pp.2740-2747, June 2012.
- [10] O. Hashimoto, T. Abe, R. Satake, M. Kaneko, and Y. Hashimoto, “Design and manufacturing of resistive-sheet type wave absorber at 60 GHz frequency band,” IEICE Trans. Commun., vol. E78-B, no. 2, pp. 246-252, Feb. 1995.
- [11] H. Kurihara, T. Saito, K. Tanizawa, O. Hashimoto, “Investigation of EM wave absorbers by using resistive film with capacitive reactance,” IEICE Trans. Electron., vol. E88-C, no. 11, pp. 2156-2162, Nov. 2005.
- [12] Y. Zhao, J. Liu, Z. Song, and X. Xi, “Microstructure design method for multineedle whisker radar absorbing material,” IEEE Antennas Wireless Propag. Lett., vol. 15, pp. 1163-1166, 2016.

- [13] B. Bai, X. Li, J. Xu, and Y. Liu, “Reflections of electromagnetic waves obliquely incident on a multilayer stealth structure with plasma and radar absorbing material,” *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 43, no. 8, pp.2588-2596, August 2015.
- [14] Y.-C. Song, J. Ding, C.-J. Guo, Y.-H. Ren, and J.-K. Zhang, “Ultra-broadband backscatter radar cross section reduction based on polarization-insensitive metasurface,” *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 15, pp. 329-331, 2016.
- [15] Y.-C. Hou, W.-J. Liao, C.-Che Tsai, and S.-H. Chen, “Planar multilayer structure for broadband broad-angle RCS reduction,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 64, no. 5, pp. 1859-1867, May 2016.
- [16] J. Huang and J.A. Encinar, *Refractarray Antennas*, John Wiley & Sons, 2008.
- [17] L. Li, Q. Chen, Q. Yuan, K. Sawaya, T. Maruyama, T. Furuno, and S. Uebayashi, “Novel broadband planar reflectarray with parasitic dipoles for wireless communication applications,” *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 8, pp. 881-885, 2009.
- [18] L. Li, Q. Chen, Q. Yuan, K. Sawaya, T. Maruyama, T. Furuno, and S. Uebayashi, “Frequency selective reflectarray using crossed-dipole elements with square loops for wireless communication applications,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 59, no. 1, pp. 89-99, Jan. 2011.
- [19] J. F. Li, Q. Chen, Q. Yuan, and K. Sawaya, “Reflectarray element using interdigital gap loading structure,” *Electron. Lett.*, vol. 47, no. 2, pp.83-85, Jan. 2011.
- [20] D.G. Berry, R.G. Malech, and W.A. Kennedy, “The Reflectarray Antenna,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.11, no.6, pp.645-651, Nov. 1963.
- [21] J. Huang, ”Analysis of a microstrip reflectarray antenna for microspacecraft applications,” TDA Progress Report 42-120, Feb. 1995, pp. 153-173.
- [22] J. Huang and J.A. Encinar, *Refractarray Antennas*, John Wiley and Sons, 2008.
- [23] F. Venneri, G. Angiulli, and G. Di Massa, “Design of microstrip reflectarray using data from isolated patch analysis,” *Microw. Optical Technol. Lett.*, vol.34, no.6, pp.411-414, Sept. 2002.
- [24] M.-A. Milon, D. Cadoret, R. Gillard, and H. Legay, “‘Surrounded-element’ approach for the simulation of reflectarray radiating cells,” *IET Microw. Antennas Propag.*, vol.1, no.2, pp.289-293, April 2007.

- [25] C. Yann, R. Loison, R. Gillard, M. Lebeyrie, and J.-P. Martinaud, “A new approach combining surrounded-element and compression methods for analyzing reconfigurable reflectarray antennas,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 60, no. 7, pp. 3215-3221, July 2012.
- [26] C. Wan and J.A. Encinar, “Efficient computation of generalized scattering matrix for analyzing multilayered periodic structures,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 43, no. 11, pp. 1233-1242, Nov. 1995.
- [27] L. Li, Q. Chen, Q. Yuan, K. Sawaya, T. Maruyama, T. Furuno, and S. Uebayashi, “Novel broadband planar reflectarray with parasitic dipoles for wireless communication applications,” *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 8, pp. 881-885, 2009.
- [28] L. Li, Q. Chen, Q. Yuan, K. Sawaya, T. Maruyama, T. Furuno, and S. Uebayashi, “Frequency selective reflectarray using crossed-dipole elements with square loops for wireless communication applications,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 59, no. 1, pp. 89-99, Jan. 2011.
- [29] H. Yagi and S. Uda, “Projector of the sharpest beam of electric waves,” *Proc. Imperial Academy Japan*, vol.2, no.2, pp.49-52, Feb. 1926.
- [30] Y. Mushiake, “Self-complementary antennas,” *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 34, no. 6, pp. 23-29, Dec. 1992.
- [31] R. H. Duhamel and D. E. Isbell, “Broadband logarithmically periodic antenna structure,” *IRE National Convention Record*, pt.1, pp.119-128, March, 1957.
- [32] D. E. Isbell, “Log periodic dipole arrays,” *IRE Trans. Ant. Prop.*, AP-8, no.3, pp.260-267, May, 1960.
- [33] K. Yokokawa, K. Konno and Q. Chen, “Scattering performance of log-periodic dipole array,” *IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett.*, vol.16, pp.740-743, 2017.
- [34] H. Ito, K. Konno, H. Sato, and Q. Chen, “Wideband Scattering Performance of Reflectarray Using Log-periodic Dipole Array,” *IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett.*, vol.16, pp.1305-1308, 2017.
- [35] R. F. Harrington, *Field Computation by Moment Methods*, Macmillan, New York, 1968.
- [36] J. H. Richmond and N. H. Geary, “Mutual impedance of nonplanar-skew sinusoidal dipoles,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 23, no. 3, pp. 412-414, May 1975.

[共同研究成果]

周期構造上に置かれたアンテナの解析手法の開発

有馬 卓司, 宇野 亨

東京農工大学 大学院工学研究院 先端電気電子部門

現在、電磁波が広く用いられているが、これらは使用する周波数によってアンテナの大きさが決まってしまう。一方、近年メタマテリアル技術が注目されており、メタマテリアル技術を用いることで電磁波の波長を任意に制御できることから、アンテナの小型化が可能になり、これまで電磁波の利用が難しい分野においても電磁波の利用が期待されている。メタマテリアルとは、マイナスの誘電率・透磁率やマイナスの位相速度などを実現する人工的な構造である。メタマテリアルは一般的に同じ構造を並べて作成する周期構造により実現される。本研究では、メタマテリアル上に配置されたアンテナの特性を、大規模数値解析を行い明らかにした。本成果は今後電磁波の応用範囲を広げるものでありその意義は大きいと考える。

1. はじめに

メタマテリアル技術[1, 2, 3]とは、人工的な構造によって負の誘電率や負の透磁率、負の位相速度などを実現する技術の総称である。筆者らのグループでは、メタマテリアルの可能に惹かれ、大型計算機を用いたシミュレーションによる開発および実験によってその有効性の確認を行ってきた。図1に示す構造はマッシュルーム型EBG (Electromagnetic Band Gap)構造と呼ばれるメタマテリアルである。この構造は、構造上で磁界をゼロにできる磁気壁として動作することが知られている。なお、自然界には磁気壁として動作する構造は存在しない。図2に示す構造は、SRR (Split Ring Resonator) と呼ばれる構造である。この構造は、負の透磁率を実現する事が出来る。自然界の媒質で、負の透磁率を示す構造は存在しないのため、SRRもメタマテリアル構造と呼ばれる。図3に示す構造は、筆者らのグループで開発を行った、負の誘電率を示す構造である。筆者らのグループにおいてはこの構造を用いる事で、波長よりも十分小さな電界を存在させることに成功している[4]。これらメタマテリアルは図1, 2, 3からも分かるように同じ構造を並べて実現される。これらは周期構造と呼ばれる。筆者らはこれらの構造をアンテナ近傍で使用することでアンテナの特性をより良くする研究を行っている。この技術を開発するには、数値シミュレーションを行う事が効率的である。このシミュレーションには、FDTD法 (Finite Difference Time Domain method) [5, 6]を用いている。この法はマクスウェルの方程式を時間領域で、空間と時間について直接差分する差分法の一つであるために、多くの計算時間がかかることが知られている。しかし、FDTD法は時間領域の解法であるために電磁界の複雑なふるまいを容易に知る事が出来る。本報告では、FDTD法を用いた周期構造上に置かれたアンテナの解析手法の開発について述べる。本研究を効率よく遂行するためにFDTD法のアルゴリズムおよびプログラムの観点からの高速計算技術は必要不可欠である。そこで、FDTD法のプログラミング技術による高速化について、東北大学サイバーサイエンスセンターの多大な協力を得た。



図1 EBG構造



図2 SRR構造

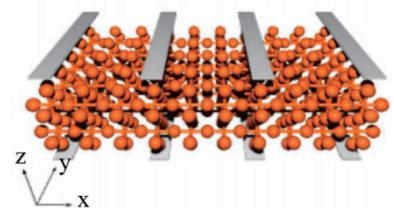


図3 負の誘電率を実現する構造

2. FDTD 法による周期構造上に置かれたアンテナの解析

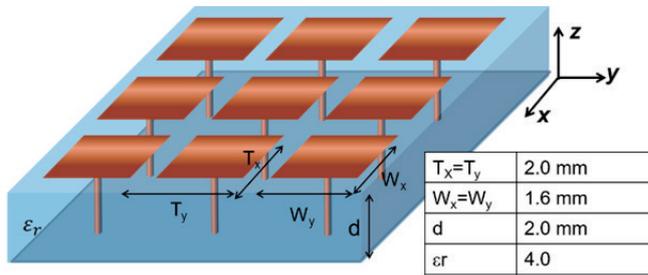


図4 EBG 構造とパラメータ

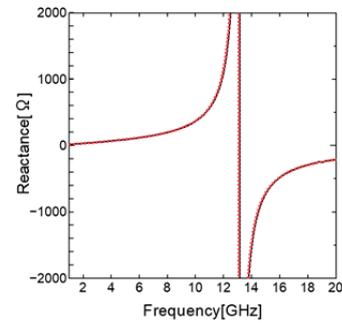


図5 表面インピーダンス

ここでは、図4に示すEBG構造上に置かれたアンテナの特性をFDTD法を用いて効率的に解析する手法について述べる。まず、図4に示すパラメータを用いて、この構造の表面インピーダンスをFDTD法により調べた。その結果を図5に示す。この結果より13GHzにおいてインピーダンスが無限大となっており、磁壁として動作していることが分かる。一方、FDTD法において実際の構造をモデル化すると莫大な計算時間が必要となってしまう。そこで、図5に示すインピーダンス特性のみをシミュレーションに組み込む事が出来れば大幅な計算量低減が可能となる。FDTD法における電界磁界の空間配置を図6に示す。また、周波数領域における電界 E_x 、磁界 H_y と表面インピーダンス Z_s の関係は(1)式で表される。

$$E_x(\omega) = Z_s(\omega)H_y(\omega) \quad (1)$$

$$E_x(t) = Z_s(t) * H_y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} Z_s(\tau)H_y(t-\tau)d\tau \quad (2)$$

FDTD法は時間領域の解法であるために、(1)式をフーリエ変換し時間領域で示すと(2)式の畳み込み積分の表記となる。畳み込み積分を組み込むには大きな計算資源が必要となるが、ここではPLRC(Pricewise Liner Recursive Convolution)法[7,8]を用いた。このように本研究では、図4に示す複雑なEBG構造を直接モデル化せずに、表面インピーダンスで置き換える。また、FDTD法により求めた表面インピーダンスは図5に示すように数値データである。この数値データをFDTD法に組み込むために、本研究では(3)式で示す有理関数に近似する。

$$Z_s(s) = \frac{sA_1}{s^2 + p_{c1}^2} + \frac{sA_2}{s^2 + p_{c2}^2} \cdots + \frac{sA_N}{s^2 + p_{cN}^2} \quad (3)$$

(3)式中で s は周波数に関するパラメータであり、 A および P は未定係数でありこれら係数を適切に設定することで、FDTD法で求めた表面インピーダンスを、(3)式に近似した。

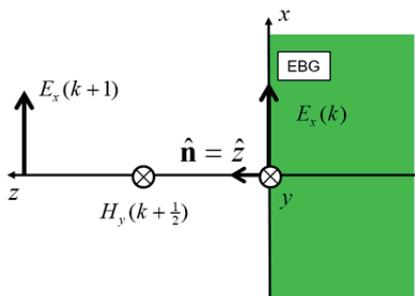


図6 FDTD法のセル配置

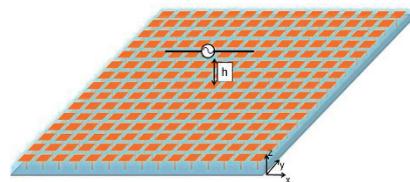


図7 周期構造上に置かれたアンテナ

3. 周期構造の電磁界特性

2章において説明した手法を用いて、実際に周期構造上に置かれたアンテナの解析を行った。解析モデルは図7に示すように、図4に示す周期構造上に全長10mmのダイポールアンテナが配置されたモデルとした。解析には東北大学サイバーサイエンスセンターのスーパーコンピュータSX-ACEを用いた。また、参考に提案する表面インピーダンスを用いずに、実際のEBG構造をモデル化したモデルでの解析も行い同時に結果を示している。実際にEBG構造をモデル化した際は、15周期×15周期のEBG構造を用いている。入力インピーダンスの解析結果を図8に示す。解析においては、EBG構造とアンテナとの距離 h を10mm、7.5mmおよび5mmと変化させた。

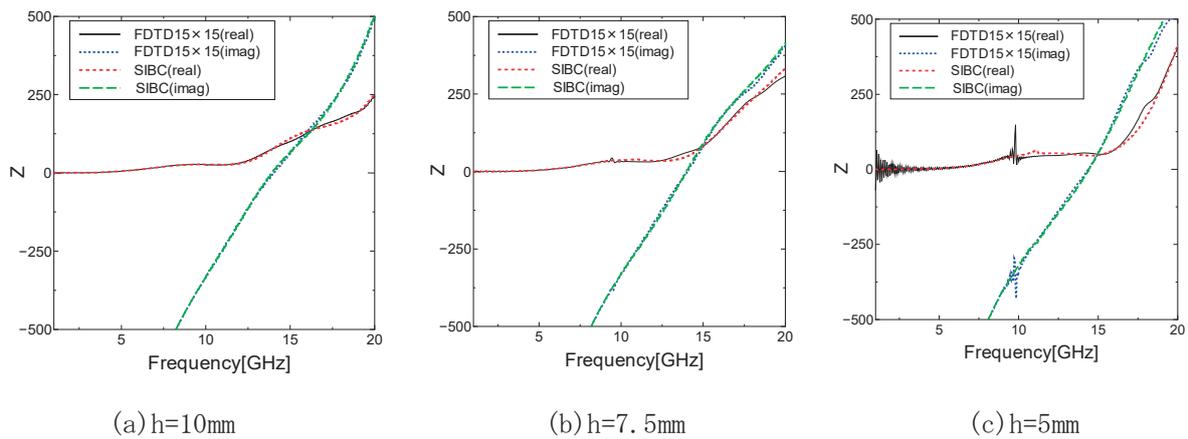


図8 周期構造上のアンテナの解析結果

図中において、SIBCと示しているのが2章で述べた解析手法を用いて解析した結果である。また、図中でFDTDと表記しているのは、実際にEBG構造をモデル化した結果である。これら結果はよく一致しており提案する手法の有効性が分かる。また、アンテナとEBGの間隔が狭くなると、通常のFDTD法では、結果に乱れが生じている。これは、FDTD法が時間領域の解法であり、解が定常状態になるまで多くの時間を要し、この解析では解が収束しきっていないことを示している。このことから提案する手法が有効であることが分かる。また、FDTD法は構造をモデル化するために、解析空間を離散化してモデル化している。図8に示した解析結果において空間の離散間隔

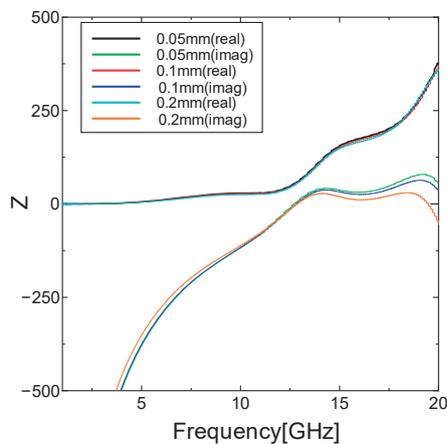


図9 離散間隔の変化

は0.05mmとしている。この離散間隔が小さくなると計算コストが大幅に増加する。しかし、EBG構造のように微細な構造を解析するには非常に細かな離散間隔を用いなければならず、結果として多くの計算コストがかかる。これに対して、提案した手法は実際のモデルを用いているため任意に離散間隔を変化させることができる。提案手法において、離散間隔を変化させた結果を図9に示す。この結果においては、離散間隔を0.05mmから0.2mmまで変化させている。このように結果はおおむね同じであり提案する手法は大幅に離散間隔を大きくできることを示している。これは計算量の削減につながる。以上の結果より提案手法の有効性が分かった。

4. まとめ

本研究では、周期構造上に置かれたアンテナの有効な解析手法を示した。提案手法ではメタマテリアルの一種である EBG 構造の電気的特性に注目し、その特性のみをモデル化する手法を提案した。提案手法では表面インピーダンスを用いている。そして、周期構造上に置かれたダイポールアンテナのインピーダンス特性を解析しその結果を示した。解析結果より提案手法は有効であることが分かった。また、FDTD 法の欠点の一つである、離散間隔を解析モデルに合わせなければいけない点についても提案手法を持ちることにより、離散間隔を任意に選べる。今後は、提案手法を用いて様々なアンテナの開発を行う予定である。

謝辞

本研究は、東北大学サイバーサイエンスセンターの協力を頂き実施した。特に東北大学サイバーサイエンスセンターのスーパーコンピュータ SX-ACE を利用することで効率的に研究を行うことができた。また、FDTD 法のプログラムの高速化にあたっては同センター関係各位に有益なご指導とご協力をいただいた。ここに謝意を示す。

参考文献

- [1] Fan Yang, and Yahya Rahmat-Samii, “Electromagnetic Band Gap Structures in Antenna Engineering.” Cambridge University Press, 2009.
- [2] S. Tretyakov, “Analytical Modelling in Applied Electromagnetics.” Artech House Inc, 2003.
- [3] C. L. Holloway, M. A. Mohamed, E.F. Kuester, and A. Dienstfrey, “Reflection and Transmission Properties of a Metafilm: With an Application to a Controllable Surface Composed of Resonant Particles”, IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 47, No. 4, pp.853-865, Nov. 2005.
- [4] Yujiro Kushiya, Takuji Arima, and Toru Uno, "Experimental verification of spoof surface plasmons in wire metamaterials," Opt. Express 20, 18238-18247 (2012)
- [5] 宇野亨, FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析, コロナ社, 1998.
- [6] 宇野亨, 何一偉, 有馬卓司, 数値電磁界解析のための FDTD 法, コロナ社, 2016.
- [7] J. F. Douglas and E. J. Garboczi, “Intrinsic viscosity and the polarizability of particles having a wide range of shapes,” Advances in Chemical Physics, I. Prigogine and S. A. Rice, Eds. John Wiley & Sons, Inc. , vol.91, pp. 85–153, 1995.
- [8] P. A. Belov, R. Marques, S. I. Maslovski, I. S. Nefedov, M. Silveirinha, C.R. Simovski, and S. A. Tretyakov “Strong spatial dispersion in wire media in the very large wavelength limit”, PHYSICAL REVIEW B 67, 113103 ,2003

[共同研究成果]

DBD プラズマアクチュエータを用いた フィードバック翼周り流れ剥離制御モデルの検討

— スーパーコンピュータを利用した高解像度シミュレーションに基づいて —

藤井 孝藏：東京理科大学工学部情報工学科
小川 拓人：東京理科大学大学院工学研究科経営工学専攻
浅田 健吾：東京理科大学工学部情報工学科

1. はじめに

航空機の翼をはじめとする流体機器周りで発生する流れの剥離抑制は、空力特性の向上や騒音の低減といった観点から極めて重要であり、これまでに様々な解決手法が提案されてきた。例えば、流体機器表面に突起物を配置するボルテックスジェネレータや、定常的な吸い込みや吹き出しを用いた定常ジェットといったものがある。これら既存デバイスは、様々な流れへ適用しようとする構造が複雑になるといったトレード・オフの特徴を持つ。そのため、既存デバイスの有するトレード・オフを克服する新しい流体制御デバイスの研究が進められている。近年では、単純形状かつ高い応答性を持つ誘電体バリア放電 (DBD) プラズマアクチュエータ [1, 2] やシンセティックジェット [3] などのデバイスに注目が集まっている。

1.1 DBD プラズマアクチュエータ

DBD プラズマアクチュエータ (以下 PA) は、対象とする流れ場に局所的な変動を与えることで大きな流れを制御するマイクロ流体制御デバイスで、2 枚の電極とそれに挟まれた誘電体からなる単純な構造を持つ (図 1)。全体の薄さは数百マイクロメートルで非常に薄く軽量である。流体制御を行う際には、電極間に高周波・高電圧の交流電圧を印加する。電圧印加によって露出電極表面にプラズマが発生し、露出電極周辺に非定常な流体変動が誘起され、流体機器の性能を向上させる [4]。発生するプラズマをそのまま流体制御に用いるため、既存のデバイスと比較して時定数の短い制御を行うことが可能である。PA は、流体機器の空力特性向上に適した特徴を持つため、航空機の翼 [5] や自動車 [6]、風力発電タービンにおける剥離流れの制御 [7, 8] や、ガスタービンエンジンの漏れ流れ抑制 [9] など、様々な分野において実用化にむけた基盤研究が進められている。

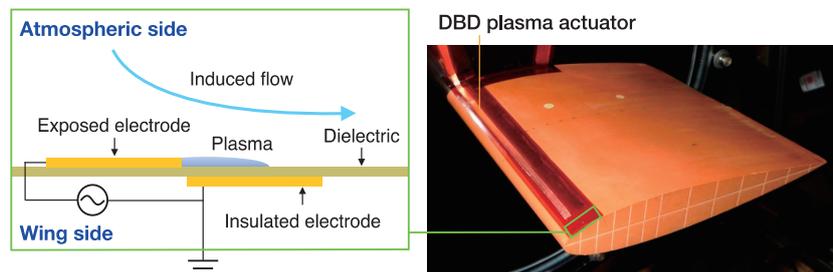


図 1 DBD プラズマアクチュエータの構造と翼型への設置例

図 2 に、PA を用いた翼周りの流れの剥離制御効果を示す。翼前縁に設置された PA を駆動させることで、翼面から大きく剥離した流れが翼面に付着し、翼の空力特性が向上する。

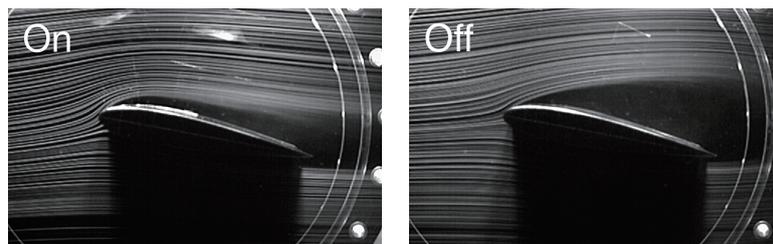


図2 DBD プラズマアクチュエータを用いた NACA0015 翼周り流れの剥離制御(制御/非制御) [12]

1.2 DBD プラズマアクチュエータを用いた翼周り流れの剥離制御

DBD プラズマアクチュエータが生み出す誘起流れは、印加する交流電圧の特性によって変化する。高い電圧ほど、また高い周波数ほどより強い誘起流れが生ずるが[10]，それに加えてデューティサイクルを利用したバースト波制御が高い効果を発揮することがわかっている。バースト波制御とは図3に示すように、一定周波数（バースト周波数）で電圧印加のオンオフを繰り返すものである。シミュレーションおよび実験による筆者らのこれまでの研究は、誘起流れの特性と制御効果の関係を明らかにし、その結果からバースト波が有効である理由を明らかにしてきた[14]。なかでも、無次元バースト周波数 F^+ は最も重要なパラメータの1つとしてしばしば議論され、剥離制御に有効なバースト周波数に関する研究が行われている[14-17]。

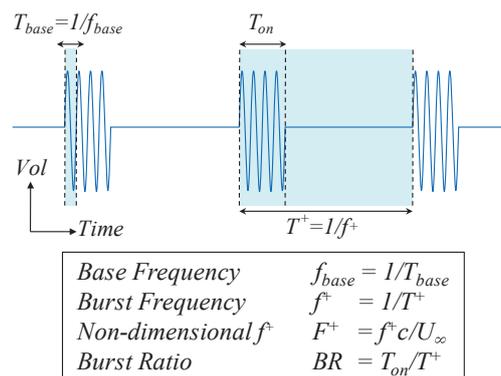


図3 DBD プラズマアクチュエータのバースト波制御における各種制御パラメータ

既存研究では、低レイノルズ数下の翼周り流れにおける無次元バースト周波数の最適値が $F^+ \approx 1$ であるとしている[11]。これは、 $F^+ \approx 1$ が剥離した流れの自然な渦放出周波数に近く、2次元的な大規模渦構造の放出を促進するためである。これらの渦構造は、自由流れの運動量を境界層に与え運動量交換を促進させる。しかし我々はこれらをより詳細に議論し、翼周り流れの条件に応じて適切な無次元バースト周波数が異なり、特に失速直後においては $F^+ = 1$ より高い周波数 $F^+ = 6$ を用いることで、効率的に空力特性を改善できることを示した[15, 17 など]。

1.3 DBD プラズマアクチュエータを用いた翼周り流れのフィードバック剥離制御

バースト駆動に関する研究の多くは、適切な無次元バースト周波数が流れ条件に依存するにもかかわらず、時間的な変化のない定常流れを対象としている。そのため、流れ条件が時々刻々と変化するピッチング翼周りの非定常流れなどへPAを適用するための知見が不足している。そのため、翼面センサなどで取得した流れ場の指標を用いてPAの駆動を変化させるフィードバック剥離制御モデルの研究が進められている[18, 19]。Plogmannら[18]は、翼上面のマイクロフォンで検出した支配的な周波数を用いた制御モデルを提案している。彼らは、支配的な音響周波数を剥離剪断層内における不安定周波数と仮定してPAの駆動周波数に用い、風洞実験で揚力と抗力を改善する結果を得ている。Benardら[19]は、風洞実験において翼面上の圧力センサから得た圧力係数の二

乗平均平方根 (RMS) を用いて剥離を検出し、印加電圧の振幅を変化させることで揚力向上に成功している。いずれの制御モデルでも一定の翼周り流れ剥離制御に成功しているが、どのような物理的指標が剥離制御に最も効果的であるかは必ずしも明らかになっていない。また、流れ条件に応じて適切なバースト波を出力するような制御モデルについては検討されていない。そこで我々は、翼面センサで取得した圧力分散値に応じたバースト駆動を模擬する制御モデル Fixed Threshold Model (FTM) の提案[20]を行い、簡易的な2次元計算[21]を実施した。その結果、FTM は流れ場条件に応じて適切な制御パラメータ値が変化することが明らかにされた。本研究では、より精度の高い3次元のLESを行い、本制御モデルの有効性をより詳細に検討する。

2. 問題設定

2.1 翼型と流れ場

翼型は NACA0015 翼とし、スパン方向が一様である 2 次元翼形状とする。翼型の流れ場に対する迎角は、失速迎角 $\alpha = 11^\circ$ より高い $\alpha = 12^\circ$ とする。流れ場はレイノルズ数 $Re = 6.3 \times 10^4$ の一様流とする。このレイノルズ数は、我々が所有する小型風洞において実験可能な数値であり、翼弦長 $c \approx 0.1$ [m]、主流速度 $U_\infty \approx 10$ [m/s] に相当する。マッハ数は $M_\infty = 0.2$ 、比熱比は空気の $\gamma = 1.4$ 、プラントル数は $Pr = 0.72$ とする。

2.2 フィードバック剥離制御モデル

図 4 に、本研究で取り扱う制御モデル Fixed Threshold Model (FTM) の概要を示す。PA を誘起流れが主流と同じ方向に出るように露出電極側を上流にして設置する。また、フィードバック制御に用いる圧力センサを PA に対して下流側に設置する。圧力センサのサンプリング周期ごとに、センサで計測した翼上面圧力 p から圧力係数 C_p を計算し、更に圧力係数の時間履歴から圧力係数の分散値 $C_{p,var}$ を計算する。分散値が閾値 θ より高い場合に PA を駆動し、低い場合に駆動しないシンプルな制御モデルである。(例えば、閾値を $\theta = 0$ に設定した場合 PA は連続駆動し、 $\theta = \infty$ に設定した場合 PA は駆動しない)。本研究では、PA を前縁 5% 位置にスパン方向に一様に、圧力センサを前縁 40% 位置のスパン方向中央の 1 点に設置する。

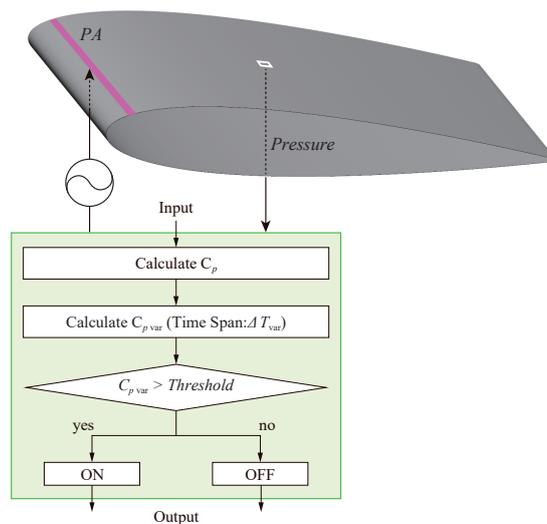


図 4 Fixed Threshold Model (FTM)

3. 計算条件

3.1 計算手法

表 2 に本研究で用いる計算手法を示す。流れ場の支配方程式には、3次元圧縮性ナビエ・ストークス方程式を用い、有限差分法により離散化して数値的に解く数値シミュレーションを採用する。メトリックス、ヤコビアン、対流項および粘性項の離散化には、従来の圧縮性スキームに比べて空間精度と解像度が高い5点6次精度のコンパクト中心差分法を適用した。また時間積分法については、2次精度ADI-SGS陰解法を用いた。数値振動を抑えるフィルターには、10次精度のものを用いた。なお、実際の計算においては、時間積分後の更新された保存量に対してフィルターが施される。これら計算法については文献[14-17]などの参考文献を参照されたい。

PAによる流れ場への運動量供給は、支配方程式に体積力項を導入することで模擬する。体積力のモデル化によるプラズマ効果と流体支配方程式のカップリングには、幾つかの種類が存在するが、本研究では比較的単純なモデルである Suzen と Huzng ら[22]の定常体積モデル（以下 Suzen モデル）を非定常に拡張した体積モデル[23, 24 など]を用いる。なお、この修正モデルの数値計算への導入方法やその信頼性に関する詳細の記述、および数値計算の妥当性については既出論文を参照されたい [17, 25]。なおPAによる最大平均誘起速度は、主流の10%程度となるようにする。

表 2 計算手法

支配方程式	3次元圧縮性ナビエ・ストークス方程式
空間差分	6次精度コンパクト中心差分 +3重対角フィルター ($\alpha_f=0.40$)
時間積分	2次精度ADI-SGS陰解法 +内部反復5回
乱流モデル	Implicit LES

3.2 計算格子

図 5 に、本研究で使用する計算格子を示す。翼周りの流れを解くための Zone1 (青色) と、PA 周りの擾乱を高精度で解くための高解像度の Zone2 (赤色) からなる重合格子法を適用する。Zone1 には C 型格子を採用し、翼表面から外部境界までの長さは翼弦長の 25 倍とする。また、翼のスパン方向の長さは翼弦長の 0.2 倍とする。Zone2 には、翼前縁 5% に設置した PA をモデル化した Suzen モデルの体積力分布が、前処理によって内挿されている。Zone1 の格子点数は約 1800 万点、Zone2 の格子点数は約 200 万点である。翼面上の格子には、固体壁条件を適用する。またスパン方向の境界には周期的境界条件を適用し、計 5 つの格子点の計算値を補間なしに直接代入する。

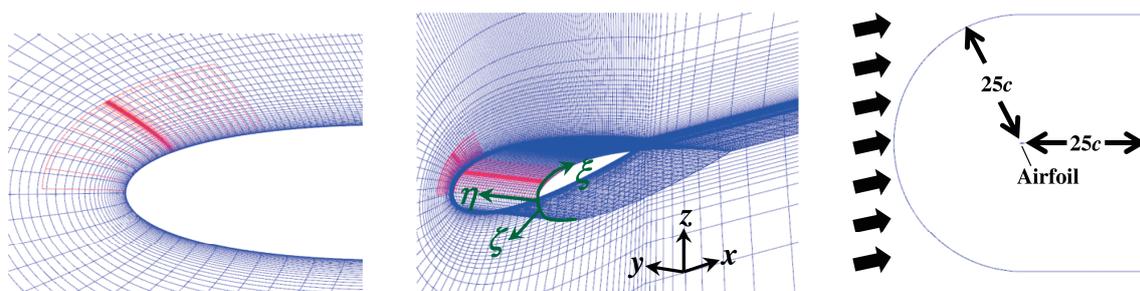


図 5 計算格子 (翼前縁/翼周辺/全体)

3.3 計算ケース

表 1 に本研究の計算ケースを示す．設定する閾値のオーダーは，本計算の事前に行われた簡易的な 2 次元計算[21]を参考に見積もっている．

表 1 本研究の計算ケースと用いる閾値

計算ケース名	FTM1	FTM2	FTM3	FTM4	FTM5
閾値	1.0-E04	5.0-E04	1.0-E03	2.0-E03	5.0-E03

3.4 計算機に関して

計算機には，東北大学サイバーサイエンスセンターのスーパーコンピュータ SX-ACE を利用した．利用ノード数は，ケースによって多少前後するが主に 20 ノードである．実際の計算では，計算領域を分割して各ノードに割り当てて計算を行う．ノード内はスレッド並列（自動並列，一部 OpenMP を利用），ノード間は MPI による並列化を施した．1 ケースの計算時間はおおよそ 40 時間である．

4. 計算結果

4.1 剥離制御効果と閾値の関係

図 6 に，本研究において得られた FTM の各閾値ケースと，既存研究[14]で得られた効果的なバースト波制御ケース「Burst1」「Burst2」，連続制御「Normal」，非制御「OFF」の空力特性を示す．なお誌面の都合上，最も剥離制御効果の得られたケース「FTM4」を中心に議論する．まず本研究で取り扱うフィードバック剥離制御モデル「FTM」の特性上，閾値 $\theta=0$ のとき PA は連続制御（Normal）となり，閾値 $\theta=\infty$ のとき PA は非制御（OFF）となる．Normal と OFF では，揚抗比と揚力が $L/D\approx 3$ ， $C_L\approx 0.5$ と低く，抗力も $C_D\approx 0.15$ と高い値をとる．対して $0<\theta<\infty$ の範囲をとる他の閾値ケースでは，閾値に応じて空力特性に大きな差異が生じている．この傾向は，同等の流れ条件で行われた FTM の風洞実験[26]の結果と概ね一致する．空力特性は特定の閾値でピークをとり，特に FTM4 のケースにおいて，揚抗比と揚力は $L/D\approx 16.0$ ， $C_L\approx 1.0$ ，抗力は $C_D\approx 0.06$ とバースト波制御よりも高い空力特性を得る．なお，FTM5 では PA は駆動せず，各空力性能は OFF と同等の値となった．よって本制御モデル FTM は，得られる空力特性が閾値に大きく依存し，適切な閾値を設定することで効果的とされるバースト波制御よりも高い空力特性を得ることがわかった．

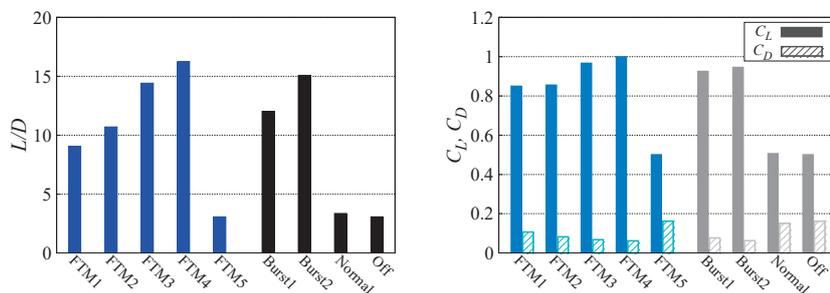


図 6 FTM の各閾値ケースにおける空力特性（揚抗比 L/D ，揚力 C_L ，抗力 C_D ）

図 7 に，FTM の各閾値ケースにおける翼面圧力係数分布と翼面摩擦抵抗係数分布を示す．また図 8 に，FTM の各閾値ケースにおける翼周り平均速度場を示す．圧力分布においては，閾値を FTM1 から大きくしていくと，翼前縁のサクションピークが大きくなる．また，摩擦抵抗分布は翼前縁の剥離泡が小さくなることからわかる．平均速度場からは，翼前縁の剥離泡の縮小に伴って剪断層が翼面に近くなり，低速度領域が小さくなることを確認できる．特に FTM4 では，翼前縁で最も大

きなサクシヨンピークをとり，翼前縁の剥離泡が最も小さくなる．また平均速度場をみると，流れが翼後縁に至るまで付着していることが確認できる．制御結果が OFF と同等である FTM5 では，圧力分布が翼前縁で小さなサクシヨンピークをとり，流れが大きく剥離していることがわかる．また摩擦抵抗分布から，翼前縁から後縁に至るまで負の値をとり続ける．また平均速度場をみると，翼上面に広く低速度の領域が形成されており，剪断層が翼面上から大きく離れ剥離していることが確認できる．よって本制御モデル FTM は，閾値の設定に応じて翼周り流れの剥離制御効果が大きく変化することがわかった．

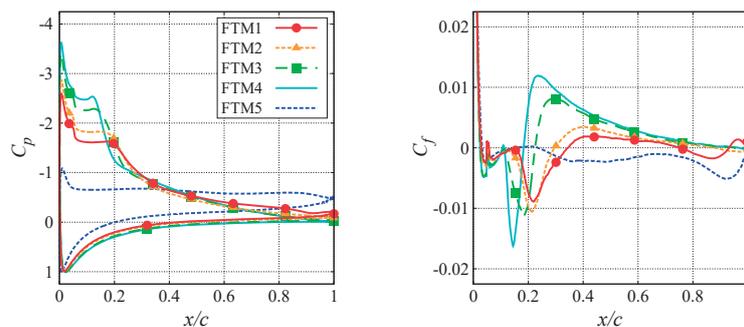


図 7 FTM の各閾値ケースにおける翼面圧力分布と翼面摩擦抵抗分布

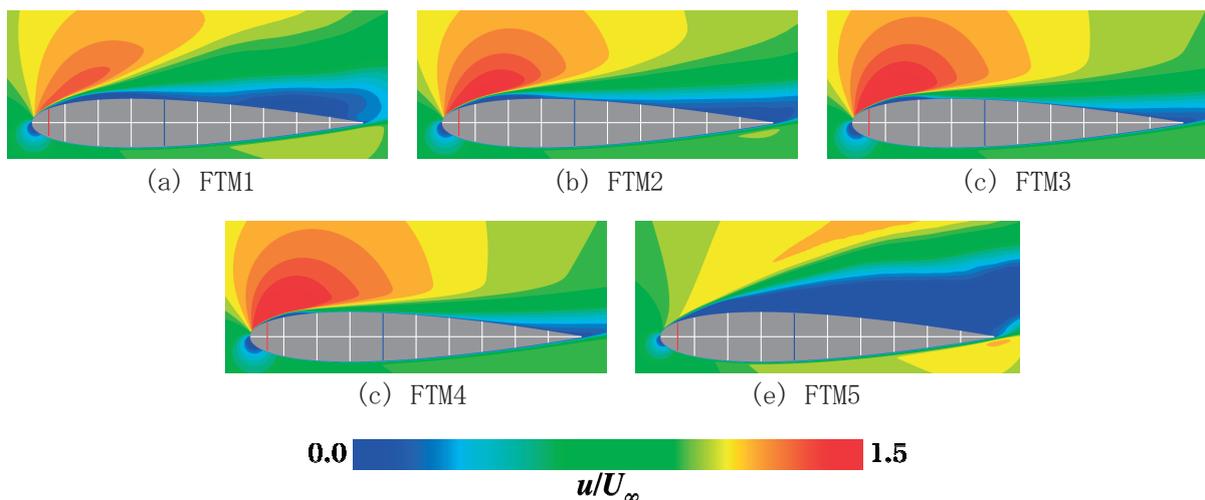


図 8 FTM の各閾値ケースにおける翼周り平均速度場

4.2 効果的な閾値ケース (FTM4) における瞬間場とプラズマアクチュエータの駆動

図 9 に，最も高い剥離制御効果をとる閾値ケース FTM4 における翼周り流れの瞬間圧力場と渦構造 (Q 値) の時間推移 ($T=tU_\infty/c=t_A, t_B, t_C, t_D$) を示す．また図 10 に，それに対応する PA の駆動を示す．なお，時間範囲 $74 \leq T \leq 75$ は，制御を開始した $T=0$ から十分に制御が進み，流れ場が発達したと考えられるものである．翼上面前縁から 2 次元的な渦構造 (矢印：黄緑) が放出されている． $t_A \leq T \leq t_B$ では，センサ上部 (前縁 40%：青) を渦が通過し，それに伴い圧力分散値が閾値を超えて PA (前縁 5%：赤) が駆動している．続いて $t_B \leq T \leq t_C$ では，センサ上部に比較的渦構造が見られない．その結果， $t_C \leq T \leq t_D$ において圧力係数分散値が小さくなり，PA が駆動しなくなる．なお，分散値計算時間幅の分だけ PA の駆動の変化には時間遅れが生じていることに注意されたい．最後に， $T=t_D$ では $T=t_A$ と同様にセンサ上流に渦が移流しており，直後から PA の駆動が開始されている．よって適切な閾値を設定した場合，2 次元的な渦構造のセンサ部通過に応じ

てPAが間欠的に駆動する．この間欠的な駆動は渦の移流に応じて準周期的なものとなる．誌面の都合上，他閾値ケースの議論は省略させて頂くが，本制御モデルFTMは，適切な閾値を設定することでPAが前縁から放出された2次元的な渦構造の移流に応じて間欠的に駆動し，それ以外の閾値を設定すると渦構造を捉えずPAが非定常に駆動するモデルであることがわかった．

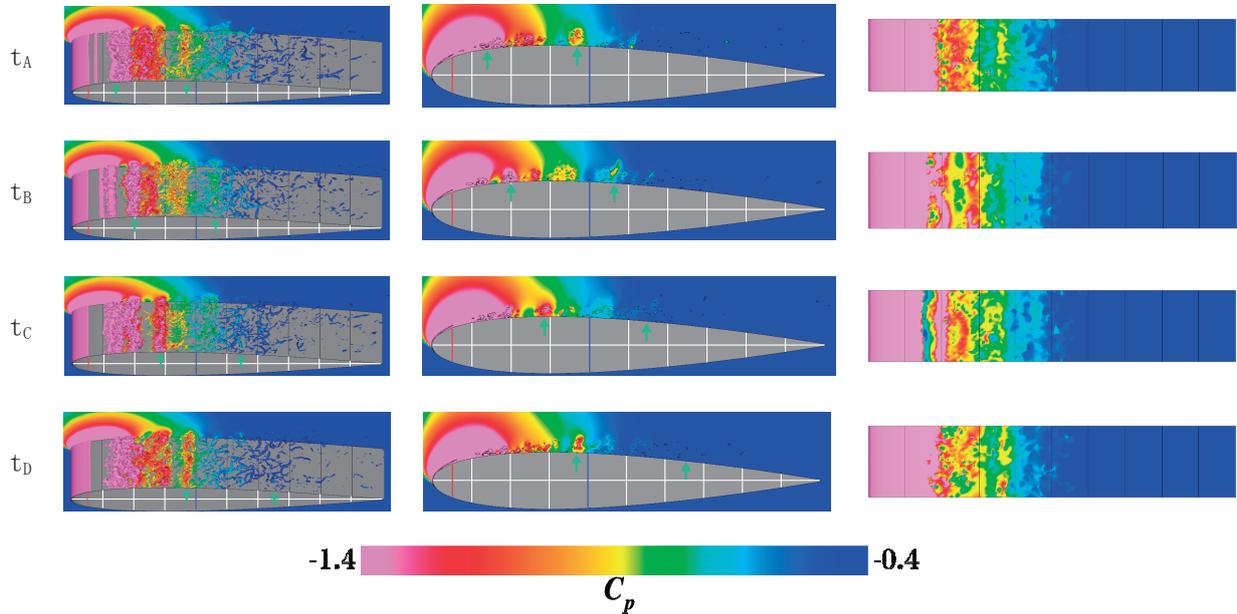


図 10 FTM4 における翼周りの瞬間圧力場と渦構造 (Q 値)

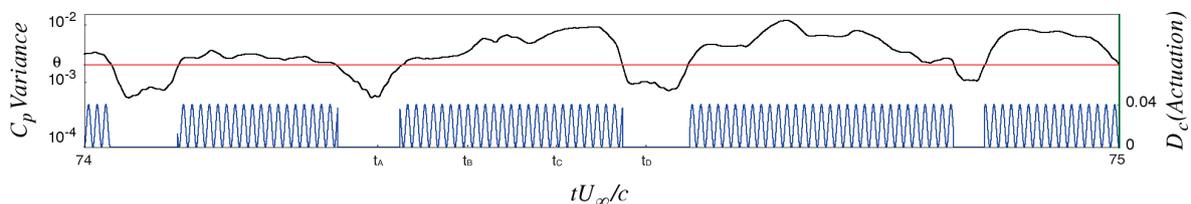


図 11 FTM4 におけるセンサ部の圧力係数分散値と DBD プラズマアクチュエータの駆動

4.3 今後の研究計画

本研究で取り扱った制御モデルFTMは，翼面圧力分散値と固定の閾値という単純な指標を用いているため，剥離制御に寄与すると考えられる2次元的な渦構造の検出が必ずしも達成されていない．そこで今後は，固定の閾値を用いずに渦構造を検出することが可能な Dynamic Threshold Model (DTM) の開発を進めていく．また，本研究では計算コストの都合上流れ条件（主流速度や迎角）については固定としている．そのため，時々刻々と流れ条件が変化する現実の流れにおいて剥離制御を達成するための知見が依然不足している．今後は，迎角や流速を動的に変化させるなど流れに擾乱を与えた計算を行うことで，制御モデルの有効性についてより深く検証していく予定である．

5. まとめ

DBD プラズマアクチュエータを用いた NACA0015 翼周り流れの LES を行い，翼面圧力係数分散値と閾値を用いたフィードバック剥離制御モデル Fixed Threshold Model (FTM) の有効性を検討し

た。失速直後の迎角 12° の翼周り流れに FTM を適用した結果、得られる空力特性は閾値に大きく依存することがわかった。このとき FTM に適切な閾値を設定すると、得られる空力特性は効果的とされる既存のバースト波制御よりも高くなった。また翼周り流れを観察すると、前縁から放出された 2 次元的な渦構造の移流に応じて DBD プラズマアクチュエータが間欠的に駆動し、翼周り流れの剥離が抑制されることが確認できた。

謝辞

ここに記載させて頂いた成果は、東北大学サイバーサイエンスセンターのスーパーコンピュータを利用することで実現することができたものである。また、研究にあたっては同センター関係各位に有益なご指導とご協力を頂いた。曾根秀昭センター長をはじめ、センターの皆様はこの場を借りて謝意を示したい。

参考文献

- [1] T. C. Corke, C. L. Enloe, and S. P. Wilkinson, “Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuators for Flow Control,” *Annual Review of Fluid Mechanics*, Vol. 42, pp. 505–529, 2010.
- [2] J. R. Roth, D. M. Sherman, and S. P. Wilkinson, “Electro hydrodynamic Flow Control with a Glow-Discharge Surface Plasma,” *AIAA Journal*, Vol. 38, No. 7, pp. 1166–1172, 2000.
- [3] A. Glezer, and M. Amitay, “Synthetic Jets,” *Annual Review of Fluid Mechanics*, Vol. 34, No. 1, pp. 503–529, 2002.
- [4] T. C. Corke, M. L. Post, and D. M. Orlov, “Single Dielectric Barrier Discharge Plasma Enhanced Aerodynamics: Physics, Modeling and Applications,” *Experiments in Fluids*, Vol. 46, No. 1, pp. 1–26, 2009.
- [5] N. Benard, J. Jolibois, and E. Moreau, “Lift and Drag Performances of an Axisymmetric Airfoil Controlled by Plasma Actuator,” *Journal of Electrostatics*, Vol. 67, No. 2-3, pp. 133–139, 2009.
- [6] 清水圭吾, 中島卓司, 関本諭志, 藤井孝藏, 平岡武宜, 中村優佑, 農沢隆秀, “プラズマアクチュエータを用いた三次元ブラフボディの空気抵抗低減,” 日本機械学会流体工学部門講演会, 室蘭, 2018.11.29-30 (発表予定) .
- [7] H. Matsuda, M. Tanaka, S. Goshima, K. Amemori, M. Nomura and T. Osako, “Experimental Study on Plasma Aerodynamic Control for Improving Wind Turbine Performance,” *Asian Congress on Gas Turbines 2012*, Shanghai, P. R. China, August 2012.
- [8] D. Greenblatt, A. B. Harav, and H. M. Vahl, “Dynamic Stall Control on a Vertical Axis Wind Turbine Using Plasma Actuators,” *AIAA Journal*, Vol. 52, No. 2, pp. 456–461, 2014.
- [9] D. P. Rizzetta and M. R. Visbal, “Simulation of Plasma-based Flow Control Strategies for Transitional Highly Loaded Low- Pressure Turbines,” *37th AIAA Fluid Dynamics Conference and Exhibit, Fluid Dynamics and Co-located Conferences*, Miami, Florida, June 2007.
- [10] T. C. Corke, M. L. Post and D. M. Orlov, “Single dielectric barrier discharge plasma enhanced aerodynamics: physics, modeling and applications,” *Experiments in Fluids*, Vol. 46, pp.1-26, 2009.
- [11] M. L. Post and T. C. Corke, “Separation Control on High Angle of Attack Airfoil Using Plasma Actuators,” *AIAA Journal*, Vol. 42 No.11,2004.
- [12] 二宮由光, 藤井孝藏, “プラズマアクチュエータを用いた失速制御における周波数の影響,” 第 45 回飛行機シンポジウム講演集, 1F1, October 2007.

- [13] K. Asada, Y. Ninomiya, A. Oyama, and K. Fujii, “Airfoil Flow Experiment on the Duty Cycle of DBD Plasma Actuator,” 47th AIAA Aerospace Sciences Meeting, The New Horizons Forum and Aerospace Exposition, Orlando, Florida, January 2009.
- [14] K. Fujii “High-Performance Computing Based Exploration of Flow Control with Micro Devices” *Philosophical Transaction A, The Royal Society*, Vol. 372, Article ID 20130326, 2014.
- [15] M. Sato, H. Aono, A. Yakeno, T. Nonomura, K. Fujii, K. Okada, and K. Asada, “Multifactorial Effects of Operating Conditions of Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuator on Laminar Separated Flow Control,” *AIAA Journal*, Vol. 53, No. 9, 2015.
- [16] H. Aono, S. Kawai, T. Nonomura, M. Sato, K. Fujii and K. Okada, “Plasma-Actuator Burst-Mode Frequency Effects on Leading-Edge Flow-Separation Control at Reynolds Number 2.6 · 10⁵,” *AIAA Journal* Vol. 55, pp. 3789-3806, 2017.
- [17] K. Fujii, “Three Flow Features behind the Flow Control Authority of DBD Plasma Actuator: Result of High-Fidelity Simulations and the Related Experiments,” *Applied Science* 2018, Vol. 8, Issue 4, 2018.
- [18] B. Plogmann, S. Mack, and H. F. Fasel, “Experimental Investigation of Open- and Closed-Loop Control for Airfoil Under Low Reynolds Number Conditions,” 39th AIAA Fluid Dynamics Conference, San Antonio, Texas, June 2009.
- [19] N. Benard, J. P. Bonnet, E. Moreau, J. Griffin, and L. N. Cattafesta III, “On the Benefits of Hysteresis Effects for Closed-Loop Separation Control Using Plasma Actuation,” *Physics of Fluids* 23, Vol. 23, Issue 8, 2011.
- [20] H. Kato, M. Sato, H. Aono, A. Yakeno, and K. Fujii “Control Mechanism of DBD Plasma Actuator for Deep-Stall Flows around NACA0015 Airfoil,” *European Drag Reduction and Flow Control Meeting EDRFCM* March 2015.
- [21] T. Ogawa, S. Shimomura, K. Asada, S. Sekimoto, T. Tatsukawa, H. Nishida, and K. Fujii, “Study on the Sensing Parameters Toward Better Feed-Back Control of Stall Separation with DBD Plasma Actuator,” 35th AIAA Applied Aerodynamics Conference, AIAA Aviation Forum, Denver, Colorado, June 2017.
- [22] Y. B. Suzen and P. G. Huang, “Simulations of Flow Separation Control using Plasma Actuators,” 44th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Aerospace Sciences Meetings, Reno, Nevada, January 2006.
- [23] K. Asada and K. Fujii, “Computational Analysis of Unsteady Flow-field Induced by Plasma Actuator in Burst Mode,” 5th AIAA Flow Control Conference, AIAA Paper, AIAA Paper 2010-5090, June 2010.
- [24] K. Asada, T. Nonomura, H. Aono, M. Sato, K. Okada, K. Fujii, “LES of Transient Flows Controlled by DBD Plasma Actuator over a Stalled Airfoil,” *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, Vol. 29, 2015.
- [25] H. Aono, S. Sekimoto, M. Sato, A. Yakeno, T. Nonomura, and K. Fujii, “Computational and Experimental Analysis of Flow Structures Induced by a Plasma Actuator with Burst Modulations in Quiescent Air” *Bulletin of the JSME Mechanical Engineering Journal* Vol. 2, No. 4, 2015.
- [26] S. Shimomura, T. Ogawa, S. Sekimoto, T. Nonomura, A. Oyama, K. Fujii, and H. Nishida, “Experimental Analysis of Closed-Loop Control of Flow around Airfoil Using DBD Plasma Actuator,” *ASME* 2017, Paper No. FEDSM2017-69246, pp. V01CT22A004, Waikoloa, Hawaii, July 2017.

[お知らせ]

学部学生のためのスーパーコンピュータ無償提供制度について

東北大学サイバーサイエンスセンターでは、学部学生(3年生、4年生)が、卒業論文等作成のために大規模科学計算システムを無料利用できる制度を実施いたします。希望者は以下を確認頂き申請書に必要事項を記入の上、お申し込みください。

本センター教員が内容を審査の上、採択となった研究課題については、以下の期間大規模科学計算システムを無料で利用する(利用ノード時間に上限あり)ことができます。

1. 応募期間

- ・ 第一回 平成 30 年 10 月 1 日(月)～平成 30 年 10 月 21 日(日)
- ・ 第二回 平成 30 年 12 月 1 日(土)～平成 30 年 12 月 21 日(金)

2. 利用期間

採択日～平成 31 年 3 月 29 日(金)

3. 応募詳細

- ・ 研究成果を学術論文誌等において発表する場合は、謝辞等で本センターの貢献を明記してください。
- ・ 年度末に成果報告書を提出して頂きます。
- ・ 申し込みには指導教員の承認が必要となります。
- ・ 高等専門学校生については本科 5 年生および専攻科生を対象といたします。

4. 応募方法

応募される方は、本センターのウェブサイト (<http://www.ss.cc.tohoku.ac.jp/>) の「各種申請用紙」から「学部学生のためのスーパーコンピュータ無償提供制度申請書」をダウンロードし、必要事項を記入して電子メールでお申し込みください。

(送り先)E-mail:edu-prog@cc.tohoku.ac.jp

5. 問い合わせ先

共同利用支援係

TEL : (022) 795-6251

E-mail :uketuke@cc.tohoku.ac.jp

(スーパーコンピューティング研究部, 共同利用支援係)

[報告]

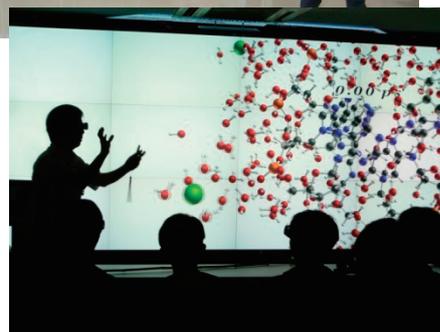
オープンキャンパス 2018 報告

スーパーコンピューティング研究部 江川隆輔

7月31日、8月1日の2日間、東北大学オープンキャンパスが開催されました。本学のオープンキャンパスは、本学への進学を考えている高校生のみならず、本学の研究、教育活動に興味を持たれている一般の方々への一般公開という形で毎年1度開催される大規模なイベントで、本年度は全学で延べ68,000人の参加者が集いました。当センターでは、多様な科学技術分野で活用されているスーパーコンピュータシステムや3次元可視化システム、本学のみならず東北地方のネットワークを支えるネットワーク機器、コンピュータの歴史を垣間見ることが出来るコンピュータ博物館の公開の他にも、スーパーコンピュータ研究部、ネットワーク研究部、先端情報技術研究部、情報通信基盤研究部、高性能計算技術開発（NEC）共同研究部門の研究活動と最新の研究成果の展示を行い、2日間で延べ約1,100人の方々にご来場いただきました。

見学に来てくださった若い学生さん達は、初めて見るスーパーコンピュータの大きさや、スーパーコンピュータを用いた多様なシミュレーション成果に大変興味を持っていたようです。また、本学理学研究科河野裕彦教授による「飛び出すデジタル 3D で映像でミクロの世界を体感しよう！ ～DNA 鎖切断や分子モータの動画公開～」という模擬授業も開催され、大変好評でした。

オープンキャンパス当日は30度を超える猛暑の中、訪れていただいた皆様と当センターの教職員、本学学生と交流を深めることが出来ました。平成31年度のオープンキャンパスは、7月30日（火）、31日（水）に開催予定です。皆様のご参加をお待ちしております。



[報告]

「ELyT School 2018 in Sendai」参加者見学報告

スーパーコンピューティング研究部 江川隆輔

東北大学は海外大学、研究機関との連携プロジェクトの一つとして、1997年よりフランスリヨン大学およびその関連研究機関と Engineering & Science, Lyon & Tohoku (ELyT)を進めております。ELyTには、フランス国立科学研究センター(CNRS)、フランス国立応用科学院リヨン校(INSA Lyon)、リヨン中央理工科学学校(ECL)の4機関がE共同研究や学生の相互派遣を10年以上続けています。

ELyTの活動として毎年開催されているELyT Schoolの記念すべき第10回目が仙台開催され、8月28日には、流体科学研究所和田直人特任教授引率のもと、本ELyT Schoolに参加された計50名の皆様が本センターの見学に来てくださいました。参加者の内訳は、フランスリヨンから22名、中国南京航空航天大学から2名、アメリカシアトルのWashington Universityから2名の計26名と、東北大学からもほぼ同数の学生にご参加いただきました。

見学では、本センターの沿革、スーパーコンピュータシステムに関する研究開発の取り組み、大規模科学計算システムの概要を紹介した後、スーパーコンピュータ、3次元可視化システム、コンピュータ博物館の見学を行いました。見学者の皆様は、本センターが運用するシステムや東北ならではの冷却設備、さまざまなシミュレーションにより得られた成果に大変興味を持たれたようで多くの質問いただき、活発な議論をすることができました。また、其々の見学箇所でもご質問をいただき、熱心に見学いただきました。

次回の仙台開催の折に、また皆様にお会い出来るのを楽しみにしています。



[Web 版大規模科学計算システムニュースより]

大規模科学計算システムニュースに掲載された記事の一部を転載しています。 <http://www.ss.cc.tohoku.ac.jp/tayori/>

コンパイラのバージョンアップについて (No. 263)

2018年8月29日に Intel コンパイラをバージョンアップいたします。
 詳細につきましては、リリースメモをご覧ください。

対象システム	コンパイラ名	旧バージョン	新バージョン	リリースメモ
LX406Re-2	Intel Fortran Compiler	17.0 update 4	2018 update 3	Fortran リリースメモ *1
	Intel C++ Compiler	17.0 update 4	2018 update 3	C/C++ リリースメモ *2
	Intel MPI Library	2017 update 3	2018 update 3	MPI ライブラリリリースメモ *3

*1 http://www.ss.cc.tohoku.ac.jp/PDF/20180727/Release_NotesF_v18.pdf

*2 http://www.ss.cc.tohoku.ac.jp/PDF/20180727/Release_NotesC_v18.pdf

*3 <https://software.intel.com/en-us/articles/intel-mpi-library-release-notes-linux#inpage-nav-3-1>

なお、コンパイルコマンドに変更はありません。オプションの詳細は、sxman コマンドや PDF 版マニュアルで参照できます。参照方法は、以下をご覧ください。

http://www.ss.cc.tohoku.ac.jp/super/online_manual.html

(共同利用支援係, 共同研究支援係)

利用者番号(アカウント)管理の徹底について (No.264)

当センターの大規模科学計算システムでは、利用に関する内規に記載された利用資格に該当し、利用を承認された本人のみが、利用者番号 (アカウント) を利用できます。利用者番号を他者へ貸与することは厳しく禁止されておりますので、改めてご注意をお願いいたします。

利用者番号を登録しても、利用しなければ負担金は発生しませんので、実際に計算機システムを利用する方全員の利用申請を行ってください。また、不正アクセスの危険性が高まりますので、以下のことを行わないよう秘密鍵の管理の徹底もお願いいたします。

- ・パスフレーズなしの秘密鍵の使用
- ・秘密鍵、パスフレーズの使い回し
- ・秘密鍵のメール添付、USB メモリやホームディレクトリに保存

情報セキュリティ対策の強化のため、皆様のご理解とご協力をお願いいたします。

(共同利用支援係)

利用負担金額の表示コマンドについて (No. 265)

本センター大規模科学計算システムでは、利用者の利用額とプロジェクトごとに集計した負担額、請求情報を表示するためのコマンドとして ukakin, pkakin があります。また、利用者のジャーナル情報とプロジェクトごとに集計したジャーナル情報を CSV 形式で出力するコマンド uelist, plist があります。これらのコマンドは、並列コンピュータ (front.cc.tohoku.ac.jp) にログインして使用します。

コマンド名	機 能
ukakin	利用者ごとの利用額を各システム、月ごとに表示
pkakin	プロジェクトごとに集計した負担額、請求情報を表示
ulist	利用者ごとのジャーナルを CSV 形式で出力
plist	プロジェクトごとに集計したジャーナルを CSV 形式で出力

いずれも、前日までご利用いただいた金額を表示します。コマンド使用例は大規模科学計算システムウェブページをご覧ください。

負担金の確認

<http://www.ss.cc.tohoku.ac.jp/utilize/academic.html#負担金の確認>

(共同利用支援係)

— SENAC 執筆要項 —

1. お寄せいただきたい投稿内容

サイバーサイエンスセンターでは、研究者・技術者・学生等の方々からの原稿を募集しております。以下の内容で募集しておりますので、皆さまのご投稿をお待ちしております。なお、一般投稿いただいた方には、謝礼として負担金の一部を免除いたします。

- ・一般利用者の方々が関心をもたれる事項に関する論説
- ・センターの計算機を利用して行った研究論文の概要
- ・プログラミングの実例と解説
- ・センターに対する意見、要望
- ・利用者相互の情報交換

2. 執筆にあたってご注意いただく事項

- (1)原稿は横書きです。
- (2)術語以外は、「常用漢字」を用い、かなは「現代かなづかい」を用いるものとします。
- (3)学術あるいは技術に関する原稿の場合、200字～400字程度のアブストラクトをつけてください。
- (4)参考文献は通し番号を付し末尾に一括記載し、本文中の該当箇所に引用番号を記入ください。
 - ・雑誌：著者, タイトル, 雑誌名, 巻, 号, ページ, 発行年
 - ・書籍：著者, 書名, ページ, 発行所, 発行年

3. 原稿の提出方法

原稿のファイル形式はWordを標準としますが、PDFでの提出も可能です。サイズ*は以下を参照してください。ファイルは電子メールで提出してください。

—Wordの場合—

- ・用紙サイズ：A4
- ・余白：上=30mm 下=25mm 左右=25mm 綴じ代=0
- ・標準の文字数（45文字 47行）

<文字サイズ等の目安>

- ・表題=ゴシック体 14pt 中央
- ・副題=明朝体 12pt 中央
- ・氏名=明朝体 10.5pt 中央
- ・所属=明朝体 10.5pt 中央
- ・本文=明朝体 10.5pt
- ・章・見出し番号=ゴシック体 11pt～12pt

*余白サイズ、文字数、文字サイズは目安とお考えください。

4. その他

- (1)執筆者には、希望により本誌（10部以内の希望部数）と本誌PDF版を進呈します。
- (2)一般投稿を頂いた方には謝礼として、負担金の一部を免除いたします。免除額は概ね1ページ1万円を目安とします。詳細は共同利用支援係までお問い合わせください。
- (3)投稿予定の原稿が15ページを越す場合は共同利用支援係まで前もってご連絡ください。
- (4)初回の校正は、執筆者が行って、誤植の防止をはかるものとします。
- (5)原稿の提出先は次のとおりです。

東北大学サイバーサイエンスセンター内 情報部情報基盤課共同利用支援係

e-mail uketuke@cc.tohoku.ac.jp

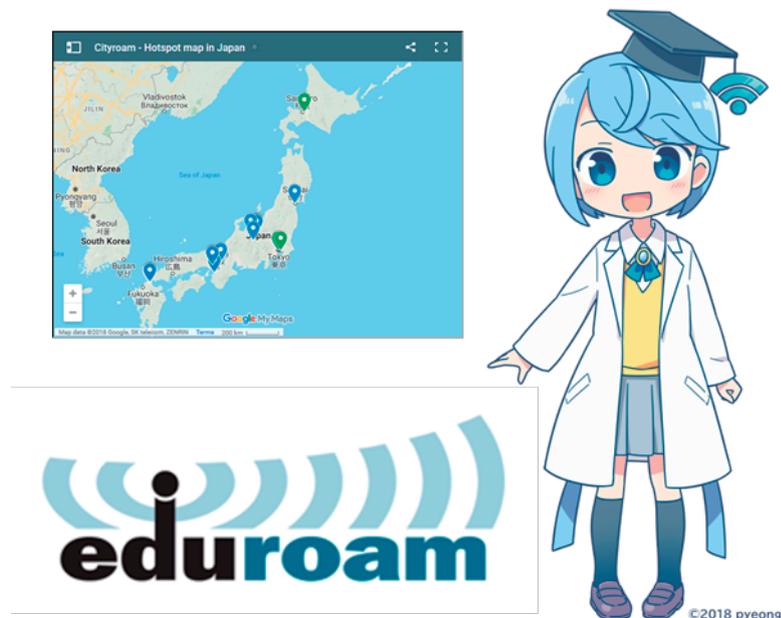
TEL 022-795-3406

スタッフ便り -1-

この号が発行されるころには、実はトライアル期間(10月中)が終了しているのですが、Wireless Broadband Alliance (WBA)の次世代ホットスポット(NGH)トライアルの一環「City Wi-Fi Roaming trial」に、昨年に引き続いて参加しました。このトライアルは、世界各地の都市のフリーWi-Fiに Passpoint を導入し、携帯電話の SIM カードを用いた認証も可能とすることで、安全で利便性の高い公衆無線 LAN サービスを実現しようとするものです。私の研究室では、2017年1月より「セキュア公衆無線 LAN ローミング研究会(NGHSIG)」を運営しており、そこに参加している通信事業者の協力を得て、国内各所に NGH 対応の基地局を設置し、グループとして WBA のトライアルに参加したものです。

海外の通信事業者と協働のトライアル期間が過ぎても、実は裏では、継続的なサービス基盤を構築しようという動きがあります。NGHSIG では既に国内で継続的なサービスとして Cityroam を展開しており、その成果を WBA 等に報告しています。Cityroam の大きな特色の一つとして、学術系の無線 LAN ローミング基盤である eduroam のサービスが統合されていることが挙げられます。このため、eduroam 参加機関の利用者には、市街地の eduroam サービスの普及により、すぐにも恩恵があるはずです。(イラストは学生さんより提供)

詳しくは、前号の No. 3(7月発行)の記事と、ウェブサイト <https://nghsig.jp/> をご覧ください。 [後藤英昭]



スタッフ便り -2-

サイバーサイエンスセンターに異動になり、早3ヶ月となりました。

例年に無い猛暑の夏も終わり、秋も深まりつつあり、月日の流れの速さを改めて痛感しております。秋といえば、読書の秋、スポーツの秋、芸術の秋などいろいろありますが、自分にとってはなんといっても食欲の秋です。秋刀魚やキノコなどの旬の食べ物が楽しみではありますが、最近体のたるみが気になってきているので、ほどほどにしなければと思っていますところでは。

サイバーサイエンスセンターのある青葉山キャンパス付近は自然豊かでこれから始まる紅葉もきれいです。普段の運動不足も痛感していて、運動するにはいい季節なので、時々付近の風景を楽しみながら、散歩してみようかと思っています。[N.S]

情報部情報基盤課スタッフ異動のお知らせ

2018.7.1 付け

[転入等]

佐々木徳仁 会計係主任（理学部・理学研究科総務課数学専攻事務室主任から）

[転出]

枝松 敬志 会計係員（財務部財務決算室財務決算第一係へ）



サイバーサイエンスセンターの駐車場にて

SENAC 編集部会

滝沢寛之 水木敬明 後藤英昭 江川隆輔
伊藤昭彦 吉田貴子 大泉健治 小野 敏
斉藤くみ子

平成 30 年 10 月 発行
編集・発行 東北大学
サイバーサイエンスセンター
仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3
郵便番号 980-8578
印刷 東北大学生生活協同組合
プリントコープ

システム一覧

計算機システム	機 種
スーパーコンピュータ	SX-ACE
並列コンピュータ	LX 406Re-2

サーバとホスト名

フロントエンドサーバ	front. cc. tohoku. ac. jp
SSH アクセス認証鍵生成サーバ	key. cc. tohoku. ac. jp

サービス時間

利用システム名等	利用時間帯
スーパーコンピュータ	連 続 運 転
並列コンピュータ	連 続 運 転
サ ー バ	連 続 運 転
可視化機器室	平日 9:00～21:00
館 内 利 用	平日 8:30～21:00

スーパーコンピュータ (SX-ACE) の利用形態と制限値

利用形態	利用ノード数 ※	実行時間制限 (経過時間)	メモリサイズ制限	-q オプション	-b オプション
通常	1～1,024	規定値：1週間 最大値：1ヶ月	60GB×ノード数	sx	利用ノード数
無料	1	1時間	60GB		f
デバッグ	1～16	2時間	60GB×ノード数	debug	利用ノード数
	17～32	24時間			

※ 2ノード以上を利用した並列実行にはMPIの利用が必用

並列コンピュータ (LX 406Re-2) の利用形態と制限値

利用形態	利用ノード数 ※	実行時間制限 (経過時間)	メモリサイズ制限	-q オプション	-b オプション
通常	1～24	規定値：1週間 最大値：1ヶ月	128GB×ノード数	lx	利用ノード数
アプリケーション	1	なし	128GB		a
会話型	1 (6コアまで)	1時間 (CPU時間合計)	8GB	-	-

※ 2ノード以上を利用した並列実行にはMPIの利用が必用

目次

東北大学サイバーサイエンスセンター

大規模科学計算システム広報 Vol.51 No.4 2018-10

[共同研究成果]

忍者アレーアンテナ - 後方散乱の小さいフェーズドアレーアンテナ -	今野 佳祐 陳 強	1
周期構造上に置かれたアンテナの解析手法の開発	有馬 卓司 宇野 亨	10
DBD プラズマアクチュエータを用いたフィードバック翼周り流れ剥離制御モデルの検討 - スーパーコンピュータを利用した高解像度シミュレーションに基づいて -	藤井 孝藏 小川 拓人 浅田 健吾	14
[お知らせ]		
学部学生のためのスーパーコンピュータ無償提供制度について		23
[報告]		
オープンキャンパス 2018 報告	江川 隆輔	24
「ELyT School 2018 in Sendai」参加者見学報告	江川 隆輔	25
[Web 版大規模科学計算システムニュースより]		
コンパイラのバージョンアップについて (No.263)		26
利用者番号 (アカウント) 管理の徹底について (No.264)		26
利用負担金額の表示コマンドについて (No.265)		27
執筆要項		28
スタッフ便り		29