

機関番号：32692

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008年～2010年

課題番号：20560338

研究課題名(和文) 時間領域と周波数領域における電磁界振動連成解析

研究課題名(英文) Numerical technique for the analysis of the coupling of the mechanical and electrical equations in time domain and spectral domain

研究代表者

黒田 道子 (KURODA MICHIKO)

東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・教授

研究者番号：70225308

研究成果の概要(和文)：電磁界数値解析法に移動境界問題を導入した数値解析法を提案している。重合格子法とFDTD法を用いることで2つの慣性系を数値解析に導入することができ、ローレンツ変換を考慮した光速に近い場合にも適用できるFDTD法を提案できた。任意方向移動と回転運動に適応しよい結果を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：Overset grid generation method combined with FDTD method is proposed to the analysis of the EM field around a rotation body. Lorentz transformation is combined to the analysis to comprise with the higher velocity values. The results are compared with the theoretical results and good agreements are obtained.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：波動利用工学

## 1. 研究開始当初の背景

(1) ユビキタス社会の到来とともにワイヤレス化が進み、その使用周波数は益々高周波領域に移動し、使用デバイスとしてRF MEMSをはじめとする可変機能を持つデバイスが注目されてきている。欧米をはじめ日本でもこの研究に取り組んでいるが、主としてメカニカルな分野が先行しているのが現状である。最適設計のためにDOE(Design of Experiments 実験計画法)を適用するためには、このデバイスが可変機能を持つため移動する境界に対する電磁界数値解析法の確立が必要であるが、このような移動や変形する境界に対する電磁界数値解析法はまだ、確立されていない。そのため、このデバイスの技

術課題の一つとして、最適設計、動作・機能解析のために過渡的現象を含む解析支援技術の確立が求められている。

(2) 運動する物体と電磁波の連成問題の数値解析法として、電磁界振動連成問題の数値解析法が強く求められている。運動する物体の電磁界数値解析では、光速に近い速度の解析が必要とされている。しかし、ローレンツ変換をFDTD(Finite Difference Time Domain)法に導入して解析を行うことは困難であるためこれまで数値解析法はなく、相対理論を考慮したFDTD法の数値解析法の確立が望まれている。

以上、述べたような学術的背景のもと、電磁界と振動などの複数の現象が絡み合う複雑な電磁界振動連成解析法の確立は、電磁界数値解析

法を各段位向上させる新しいシミュレーション法として期待されている。この手法が確立されれば、可変機能を持つデバイスの最適設計が可能となり、開発スピードが向上し斬新なデバイスの開発にも大いに貢献できるだけでなく、ローレンツ変換を考慮した FDTD 法を提案することができ、電磁界数値解析法を一段と向上させることになる。

## 2. 研究の目的

移動する境界や物体に対する数値解析法は、主として数値流体解析の分野で行われてきており、いくつかの手法が提案されている。しかし、計算電磁気学の分野では、まだ確立されているとは言えない。黒田は移動境界適合座標系を用いた数値解析法を世界に先駆けて光・電磁界の分野に導入し、FDTD法を用いて解析を行い、論文誌 (IEICE Trans., vol.E74, No.12, pp3952-3954 Dec., 1991) で発表した。この研究の独創的な点は、これまで困難であった任意形状、任意運動に適用して、FDTD法を用いて直接数値解析ができるようにした点である。このような着眼点による研究は国内外を通じてもきわめて独創的なものである。特に、近年、電磁界の分野でも運動する物体の解析に注目が集まるようになり、その必要性は大いに期待されている。

ここでは、移動速度が光速に近い場合にも適用できるように重合格子法と FDTD 法を用いた数値解析法を提案する。この手法の精度検証を行い、実際のデバイスの機構解析に適用して行くことで、電磁界・振動などの複数の現象が絡み合う複雑な電磁界振動連成問題の解法の確立が可能になる。その応用として MEMS に代表される可変機能を持つデバイスの数値解析に取り組むことで、ユビキタス社会といわれる情報通信社会の発展のために大いに寄与することができると確信する。一方で、光速に近い速度で運動する物体に対するローレンツ変換を使った FDTD 法を提案することで電磁界数値解析法の発展に寄与することを目的とする。

## 3. 研究の方法

研究代表者黒田は、これまで移動境界適合座標系という手法を電磁界数値解析の分野に導入し、FDTD法を用いて、移動境界値問題の解法を行ない理論値との比較を行ってきた。この手法を用いることでこれまで不可能であった任意運動、任意形状に対する電磁界問題が数値解析法を用いて直接計算できるようになった。

黒田は、この手法を用いてこれまで移動する物体からの反射波、透過波を求め、V. Bladel (Relativity and Engineering,

Springer-Verlag, Berlin, 1984)による理論値との比較を行いよい一致を得ている。さらに正弦波運動する物体や準静止問題などについて数値解析を行い、その結果を理論値と比較しよい一致を見てきた。

さらに電磁界の移動問題では、光速に近い速度の場合の数値解析が求められる。そこで、重合格子法を用いて2つ以上の座標系を用いることで光速で移動する場合のローレンツ変換をFDTD法に導入することができるため、このことを用いて2座標系以上の座標系を用いてFDTD法に導入するアルゴリズムを導入し、回転問題や任意方向運動の解析を行う。

## 4. 研究成果

(1) 新たに高速の場合にも適用できるようにローレンツ変換を考慮した電磁界振動連成問題の数値解析法を提案した。重合格子法を用いた手法を厳密解、移動境界適合座標系と比較した結果、この結果は両者とよく一致することを証明できた。重合格子法は、移動境界適合座標系に比べて移動距離を長く取れる特徴があり、今後、広い範囲に応用ができる利点があるため、MEMSをはじめモバイル通信機器に応用できる手法であることを確認でき、今後この手法を応用していけることを確認した。2008年度に新たに提案した重合格子法については2008年7月のIEEEAPS2008、PIERS2008、で発表した。

(2) 移動境界適合座標系を用いた移動する電磁界問題についての手法は周波数領域で解析を行い、その結果は2008年9月電子情報通信学会和文論文誌に掲載された。MEMSに応用した研究成果は、2009年6月のIEEEAPS2009で発表した。以上述べたように、成果は、国内外の学会で発表し、よい評価を得ている。

(3) 電磁界では光速に近い場合を取り扱うため、ローレンツ変換を考慮した数値解析法が必要とされている。そこで重合格子法とFDTD法を用いることで、2つの慣性系を数値解析に導入することを考案し、ローレンツ変換をFDTD法に導入することを可能にした。また、移動速度によって2つの慣性系における時間格子、空間格子が時々刻々変動するが、重合格子法によって空間格子を補間し、時間格子にも補間を行うことでこの問題を解決できた。この結果、高速の場合にも適用できる電磁界数値解析法を確立でき、プラズマ内の電子の運動解析、光・マイクロ波デバイスの解析など広く応用できることが期待される。

これらの成果のうち、ローレンツ変換に関する成果は2008年11月の電気学会電磁界理論研究会で発表したのをはじめ、2009年3月のACES2009でも発表した。2009年10月に論文誌IEEJ Trans. FMに掲載されたほか、2009年8月のPIERS2009

, 11月の電磁界理論シンポジウムなどで発表した。この成果は学会で高く評価され、2009年9月の電子情報通信学会ソサエティ大会シンポジウム、2009年12月の電子情報通信学会マイクロ波シミュレータ研究会第1回公開研究会で招待公演を行った。また、従来から取り組んでいる応用として、可変機能デバイスへの応用に関する研究は、2009年9月に、論文誌MASAUM Journal of Basic and Applied Sciencesに掲載され、2009年6月のIEEEAPS2009 で発表した。以上、述べたように、成果は国内外の学会で発表し、その獨創性について高い評価を得ている。

(4) 任意の運動にも適用できることを証明するため、この手法を3次元問題や回転問題に適用し、高速で回転する物体の電磁界解析を行うことができた。この結果を理論値と比較し、よい一致をみた。このことより、この手法は、光、マイクロ波デバイスの解析だけでなく、カーボンナノチューブなどの数値解析に適用できることを証明でき、広く応用が期待される。これらの成果のうち、3次元問題に関する成果は、2010年のACES2010で発表し、Proc. of ACES2010に掲載されている。回転問題や斜め方向運動などの研究成果は、Proc. of IEEE2010、Proc. of AP-RASC2010、Proc. of ACES2011などに掲載されている。また、これらの成果をまとめた論文は、ACES Journalに掲載が決定している。国内では、2010年5月の電気学会電磁界理論研究会、9月の電子情報通信学会ソサエティ大会、11月の電気学会電磁界理論研究会などで発表した。このように、得られた成果は国内外の学会で発表し、高い評価を得ている。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

- (1) Shafrida Sahrani, Hiroshi Iwamatsu, Michiko Kuroda, A Novel Approach for the Analysis of Electromagnetic Field with Rotating Body, ACES Journal, 査読有, 採録決定
- (2) Hiroshi Iwamatsu, Michiko Kuroda, Over Set Grid Generation Method Coupled with FDTD Method while Considering the Doppler Effect, IEEJ Trans FM, 査読有, vol.129, no.10, 2009, pp699-703
- (3) Shafrida Sahrani, Michiko Kuroda, Mohd Shahril, Edward David Miieg, Efficient analysis of RF-MEMS Capacitor with accelerated Movement, MASAUM Journal of Basic and Applied Sciences, 査読有, Vol. 1, NO.2, 2009, pp284-290
- (4) 益子修一, 岩松寛, 黒田道子, 電磁界振動連成解析法を用いた散乱スペクトルの周波数偏移に関する検討, 電子情報通信学会和文論文誌, 査読有, Vol.J91-C, No.9, 2008, pp688-689

[学会発表] (計18件)

- (1) Shafrida Sahrani, Hiroshi Iwamatsu, Michiko Kuroda, "Overset Grid Generation Method in Relativistic Rotating Body and its Influence on Accuracy", Spokane, IEEE APS2011, July, 2011
- (2) Shafrida Sahrani, Hiroshi Iwamatsu, Michiko Kuroda, "Overset Grid Generation Method for the Study of Electromagnetic Field in Rotating Environment", ACES2011, pp159-164, Williamsburg, March, 28<sup>th</sup>, 2011
- (3) Shafrida Sahrani, Hiroshi Iwamatsu, Michiko Kuroda, "An Approach to the Electromagnetic Field in Rotating Environment by Overset Grid Generation Method" 電気学会電磁界理論研究会 EMT-10-156, 猪苗代, 2010年11月13日
- (4) Hiroshi Iwamatsu, Michiko Kuroda, "The Analysis of the Doppler Effect for the Motion of various Direction", AP-RASC2010, BEFKC-1, Toyama, Sept., 25<sup>th</sup>, 2010
- (5) Shafrida Sahrani, Hiroshi Iwamatsu, Michiko Kuroda, "Overset Grid Generation Method for the Analysis of Electromagnetic Field in Rotating Body", 電子情報通信学会ソサエティ大会, C-1-33, 大阪, 2010年9月17日
- (6) Hiroshi Iwamatsu, Michiko Kuroda, "Computational Algorithm of FDTD Method for the Lorentz Transformation", IEEE APS2010, Toronto, July, 14<sup>th</sup>, 2010
- (7) 岩松寛, 黒田道子, "重合格子法を用いた斜め方向移動に対する FDTD 解析", 電気学会電磁界理論研究会 EMT10-60, 東京, 2010年5月29日
- (8) Hiroshi Iwamatsu, Masahiro Ishihara, Michiko Kuroda, "FDTD Method Coupled with the Over Set Grid Generation Method while Considering the Lorentz Transformation in 3D Structures", ACES 2010, pp286-291, Tampere, April, 27<sup>th</sup>, 2010
- (9) 黒田道子, "FDTD 法の移動境界問題への適用", 電子情報通信学会マイクロ波シミュレータ研究会第1回公開研究会, 東京, 2009年12月4日
- (10) 石原正博, 岩松寛, 黒田道子, "重合格子法を用いた3次元移動境界問題の電磁界数値解法" 電気学会電磁界理論シンポジウム EMT-09-144, 那覇, 2009年11月28日
- (11) 岩松寛, 黒田道子, "任意運動に対する重合格子法を用いた FDTD 解析" 電気学会電磁界理論シンポジウム EMT-09-145, 那覇, 2009年11月28日
- (12) 黒田道子 "FDTD 法を用いた移動境界問題の解法", 電子情報通信学会ソサエティ大会シンポジウムセッション, CS-1-2, 新潟, 2009年9月18日
- (13) Hiroshi Iwamatsu, Michiko Kuroda, "Over Set Grid Generation Method for the Analysis of Electromagnetic Field while Considering the Lorentz Transformation", Piers2009, Moscow,

August, 19<sup>th</sup>,2009

(14)Shafriada Sahrani, Edward David Miieg: Michiko Kuroda,” A Numerical Approach to the Efficient Analysis of 2D RF-MEMS Capacitor with Accelerated Motion”, Charleston, IEEE APS2009, June, 4th, 2009

(15)Hiroshi Iwamatsu ,Ryo Fukumoto, Michiko Kuroda, “Over Set Grid Generation Method for the Analysis of the Doppler Effect in the Electromagnetic Field”, ACES2009, Monterey, March, 9th, 2009, pp298-301

(16)岩松寛, 福本亮, 黒田道子, “重合格子法を用いた移動体を含む電磁界解析”, 電気学会電磁界理論研究会資料 EMT-08-135, 高山, 2008年11月21日

(17)Hiroshi Iwamatsu, Ryo Fukumoto, Masahiro Ishihara, Michiko Kuroda,” Comparative Study of Over Set Grid Generation Method and Body Fitted Grid Generation Method with Moving Boundaries, IEEE APS2008, SanDiego,July,7th, 2008

(18)Hiroshi Iwamatsu, Ryo Fukumoto, Shuichi Masuko and Michiko Kuroda, ” Body Fitted Grid Generation Method with Moving Boundaries and Over Set Grid Generation Method” , PIERS2008,, Cambridge July,4th, 2008

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

黒田 道子 (KURODA MICHIKO)  
東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・教授  
研究者番号：70225308

### (2)研究分担者

( )

研究者番号：

### (3)連携研究者

### (4)研究協力者

・Shafria Sahrani (シャフリダ・サラニ )  
Lecturer, University Malaysia Sarawak  
東京工科大学大学院博士課程学生 (H21～22)

・岩松寛 (IWAMTSU HIROSHI)  
日本大学博士研究員 (H21～22)

・Manos Tentzeris (マノス・テンジェリス)  
Professor,  
Georgia Institute of Technology  
(H21～22)

・Binghu Piao (ビング・ピアオ)  
ファームフロー代表取締役、  
電気通信大学産学官連携センター客員教授  
(H21～22)