

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：51303

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510259

研究課題名(和文)GPUクラスタを用いた超高速解析による河川堤防の高精度リアルタイムセンシング

研究課題名(英文)High Precision and Realtime Sensing of Underground Target by Ultrafast Analysis on GPU Cluster

研究代表者

園田 潤 (Sonoda, Jun)

仙台高等専門学校・知能エレクトロニクス工学科・教授

研究者番号：30290696

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、不均質大地中の地下変位を地中レーダで検出するための検討として、GPUクラスタを用いたFDTD法によるシミュレーションを行っている。大きさや比誘電率が異なる物体をランダムに配置することで複数の不均質大地をモデル化し、不均質大地中における地下変位の検出特性を統計的に解析している。本研究では特に、均質大地と不均質大地で得られるレーダプロフィールとの相互相関値から検出特性を定量化するとともに、GPUクラスタを用いることで通常のFDTD法では計算時間を要する問題を解決できることを明らかにしている。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have analyzed detection characteristics of a subsurface displacement by ground penetrating radar (GPR) using the finite-difference time-domain (FDTD) simulation with graphic processing units (GPUs) cluster. Inhomogeneous subsurface with many randomly placed scatters which are different in size and electric permittivity have been modeled, we have computed detection characteristics of subsurface displacement in the inhomogeneous subsurface models using the FDTD method. We have estimated the detection of subsurface displacement by cross correlation value between homogeneous and inhomogeneous GPR profiles. Moreover, we have shown that the use of GPU cluster is much more faster and practical than conventional method.

研究分野：電磁波工学

キーワード：地中レーダ 地下変位検出 不均質大地 FDTD法 GPUクラスタ

### 1. 研究開始当初の背景

近年、大型台風や地震など自然災害に対するインフラ整備が急務になっている。特に、住宅地や道路・堤防などの地盤沈下や断層変位などの地下探査を効率的かつ高速に実施することが求められている。地下探査に広く用いられている手法に地震探査法があるが、分解能が5 m程度であることから浅層部や分解能以下の変位量検出が困難である。これに対して、地中レーダ(Ground Penetrating Radar: GPR)は、波長が数十センチ程度であるため、地震探査法に比べて分解能が高く浅層部の探査や地下変位の調査に適した手法であり、これまでに埋設管探査や地下水調査など様々な分野に用いられている。このようにGPRでは深さ方向の分解能が比較的高いことから、地盤沈下や断層などの地下構造変位を検出できる可能性があり、これまでにGPRを用いた浅層部の断層調査やトレンチ位置決め調査などが行われている。しかしながら、GPR探査の問題点として地中の不均質さによるクラッタの影響からレイリー基準程度の地下変位の検出も困難であることが予想されるが、これまで地下変位に対しての検出精度は評価されていなかった。

### 2. 研究の目的

一方、これまでFDTD (Finite-Difference Time-Domain)法による不均質大地のGPRシミュレーションが行われている。FDTD法は、時間領域での解析であることや任意の形状の散乱体をモデル化できることなどからGPRシミュレーションに適した手法である。しかしながら、比較的計算量が多い手法であるため、計算時間の増大が問題であった。特に、不均質大地における地下変位の検出特性の解析のような多数のモデルを計算する場合には、計算時間はさらに増大するため、これまで解析が困難な問題であった。そこで本研究では、GPRでの不均質大地中での地下変位の検出特性の把握を目的に、GPU (Graphics Processing Unit)クラスタによるFDTD法によるシミュレーションを行い、地中媒質の不均質さに対する地下変位の検出特性の統計的解析を行う。統計的手法を用いる場合、多数の地中モデルに対する解析が必要となるため、GPUクラスタを用いて複数モデルの高速シミュレーションを試みる。本研究では、(1)2次元および3次元FDTD法を用いて不均質大地モデル100個に対する地下変位の検出特性を定量的に明らかにするとともに、(2)(1)の解析に要する計算時間を評価しGPUクラスタの有効性を示す。

### 3. 研究の方法

FDTD法を用いたGPRシミュレーションでは、地上で波源を走査させ、地中からの反射の時間応答を各走査点で観測する。このため、FDTD法の時間と空間のループが走査点数分だけ生じ、計算時間が増大する。そこで本研

究では、FDTD法をGPU実装することによって高速化する。FDTD法のGPU実装では、電磁界計算の空間ループを複数のスレッドで並列計算することにより高速化を実現する。GPUでは、演算コアとGPUメモリ間は100 GBytes/s以上と高速であるが、CPUメモリとGPUメモリ間はPCI Express 2.0×16による8 GBytes/s程度であるのでCPUとGPU間の通信を少なくする必要がある。以下に、GPUにおけるFDTD計算の手順を示す。まず、(1)時間ループに入る前に初期電磁界や電気定数の配列をCPUからGPUメモリに転送する。時間ループでは、(2)CPUへ電磁界値を転送することなくGPUで電磁界計算と吸収境界条件の計算を行い計算が終了した後に、(3)結果をGPUからCPUへ転送する。

FDTD法によるGPRシミュレーションにおいては、より多くの地中モデルに対し短時間で計算できることが望ましい。GPUを用いることにより高速に計算することが可能になるが、多くのモデルを高速に計算するためには、複数台のGPUを搭載したGPUクラスタの利用が有効である。一般的にクラスタ型の計算機で並列計算を行う場合には、解析領域をそれぞれのプロセッサに分割する領域分割法が用いられる。しかしながら、FDTD法の並列計算においては、プロセッサ間で分割領域端の電磁界値の交換が必要であり、FDTD法の毎時間ステップに各プロセッサ間でデータ転送が生じる。

例えば、 $N^3$ の解析領域を1次元分割し、単精度浮動小数点変数を使用して並列計算した場合、時間ステップごとに各プロセッサ間で $16 N^2$  Bytesの通信量が生じる。高速インターコネクトであるInfiniband QDRを用いた場合でも、その通信帯域は高々5 GBytes/sであるので、各プロセッサでの通信が計算のボトルネックになる。このため、GPUクラスタでの効率的な計算を実現するためには、GPU間の通信量が少ない分割法が必要である。そこで本研究では、モデル分割法を適用する。モデル分割法とは、複数の解析モデルを一つずつ複数のプロセッサに割り振り、タスク並列で計算する分割法である。モデル分割法は大規模領域の計算には適さないが、各プロセッサ間で通信が生じないため、多くのモデルを短時間で解析するため有効な手法である。

### 4. 研究成果

一般的に、GPRの深さ方向の分解能はレイリーの基準である1/4波長である。しかしながら、クラッタ等の影響により不均質大地中では1/4波長程度の地下変位の検出は困難であると考えられる。そこで、FDTD法によるGPRシミュレーションにより、どの程度の地中の不均質さに対して1/4波長程度の地下変位を検出できるかを検討し、GPR探査における地下変位の検出範囲を定量的に評価する。

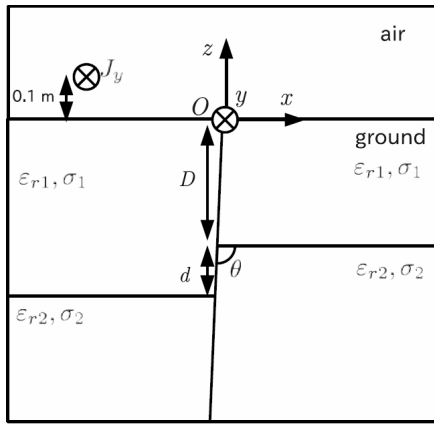
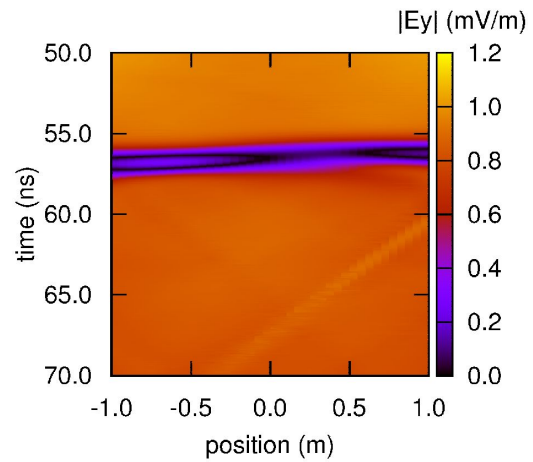


図1 地下変位検出の解析モデル

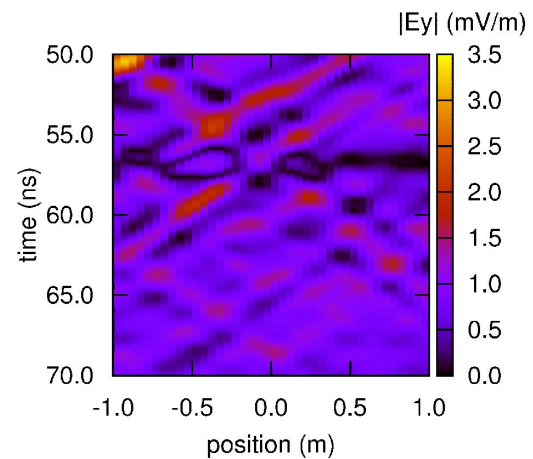
ここでは、(1) 不均質大地中の2次元および3次元のFDTD法によるGPRシミュレーションを行い、均質大地と不均質大地のGPRプロファイルの相互相関値を用いて地下変位検出を統計的に明らかにする。さらに、(2) (1)に要する計算時間評価を行い、GPUクラスタにおけるモデル分割法の有効性を示す。

地下変位検出の解析モデルを図1に示す。地中を比誘電率  $\epsilon_{r1}$ ,  $\epsilon_{r2}$ , 導電率  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  の2層構造とする。層の厚さを  $D$ , 変位量を  $d$ , 変位角を  $\theta$  とする。不均質大地をモデル化するために、図1の地中媒質全体に対して、一辺の大きさが  $s$  で比誘電率  $\epsilon_r = 1.0 \sim 8.0$  の媒質を  $\epsilon_r$  の割合で一様に分布させる。波源として電流源  $J_y$  を地表面から  $0.1\text{ m}$  離れた点に設置し、パワースペクトルが  $-30\text{ dB}$  になる周波数が  $800\text{ MHz}$  のガウシアンパルスを励振する。変位上端部の真上の地表面を原点とし、電流源  $J_y$  を地上で  $x$  軸方向に  $x = -1.0 \sim +1.0\text{ m}$  まで  $0.05\text{ m}$  毎に走査させ、地中からの反射波  $E_y$  を観測する。FDTD法の解析パラメータは、セルサイズが  $0.01\text{ m}$ , 時間ステップが  $1 \times 10^{-12}\text{ s}$  である。また、吸収境界条件は16層のPMLである。

まず、2次元モデルの解析について示す。解析領域は  $10.24\text{ m} \times 10.24\text{ m}$  で、 $10.24\text{ m} \times 9.24\text{ m}$  を地中とする。図1の解析モデルにおいて、比誘電率  $\epsilon_{r1} = 3.0$ ,  $\epsilon_{r2} = 4.0$ , 導電率  $\sigma_1 = \sigma_2 = 0.001\text{ S/m}$ ,  $\theta = 90^\circ$  とし、GPRの波長 ( $= 0.2\text{ m}$ ) に対して層の厚さ  $D = 20$ , 変位  $d = D/4$  とする。地中の不均質さのパラメータについては、不均質媒質の大きさ  $s$  を分散  $0.01$  の正規分布で与え、その平均値を  $0.05 \sim 0.5$  まで  $1/20$  毎に変化させる。また、不均質媒質の分布は、 $1 \sim 10$  個/ $\text{m}^2$  の間で1個/ $\text{m}^2$  毎に変化させる。この  $s$  と  $\gamma$  の組合せ100通りの不均質大地モデルに対し、FDTD法によるGPRシミュレ



(a) 均質媒質



(b) 不均質媒質

図2 2次元問題のレーダプロファイル

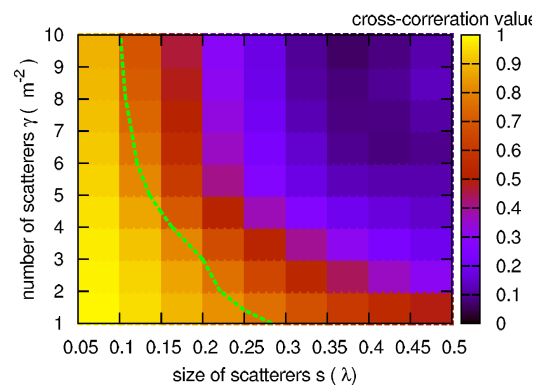
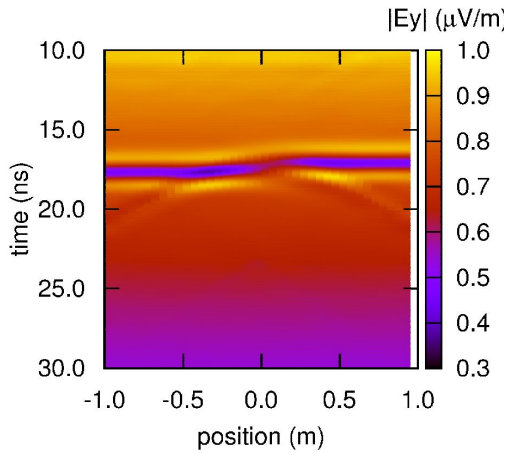
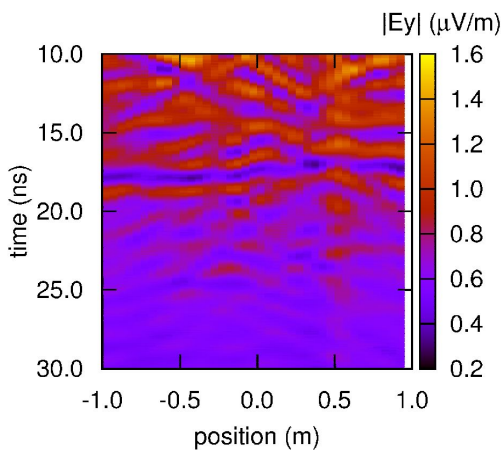


図3 相互相関による地下変位検出特性

ーションを行う。さらに、均質大地と100個の不均質大地モデルで得られるGPRプロファイルの相互相関値により地下変位の検出可能範囲を評価する。



(a) 均質媒質



(b) 不均質媒質

図4 3次元問題のレーダプロフィール

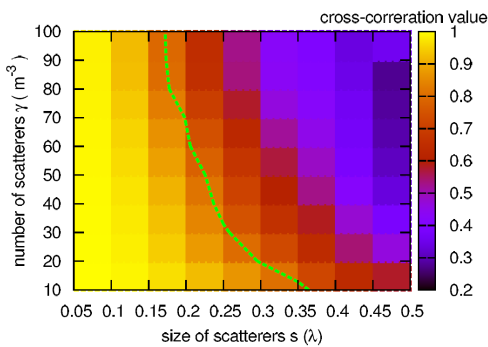
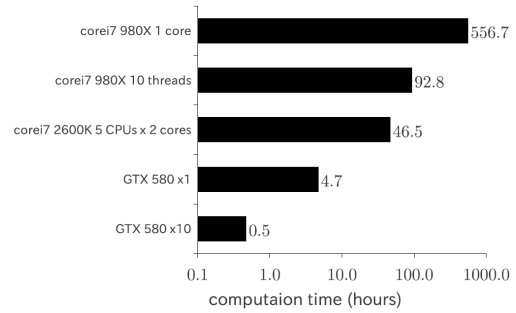
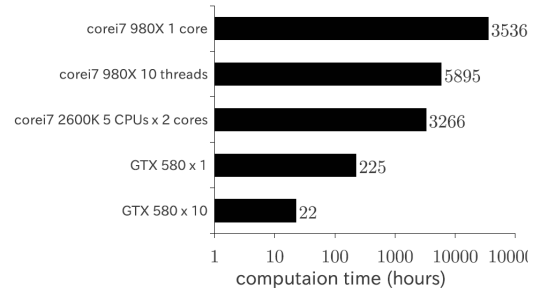


図5 相互相関による地下変位検出特性

図2(a)(b)に比較的均質大地( $s = 1/20$ ,  $\gamma = 1$  個/ $m^2$ )と不均質大地( $s = 1/4$ ,  $\gamma = 5$  個/ $m^2$ )における地中モデルとそのGPRプロフィールを示す。図2(a)の比較的均質な場合には地下変位を確認できるが、図2(b)の不均質大地ではクラッタの影響が強く現れ地下変位の検出が困難になることが分かる。図3に  $s$  と  $\gamma$  に対する相互相関値を示す。図3中の破線は相関値0.8を示している。ここで例えば、相関値が0.8以上を検出可能とすると0.1の媒質が10個/ $m^2$ から0.3の媒質が1個/ $m^2$ の割合で分布している大地であれ



(a) 2次元解析



(b) 3次元解析

図6 100モデルの計算時間

ば、 $1/4$  波長程度の変位を検出できることを明らかにした。

次に、3次元モデルの解析について示す。解析領域は  $2.56\text{ m} \times 2.56\text{ m} \times 3.84\text{ m}$  で、 $2.56\text{ m} \times 2.56\text{ m} \times 2.56\text{ m}$  を地中とする。比誘電率  $\epsilon_1 = 3.0$ ,  $\epsilon_2 = 4.0$ , 導電率  $\sigma_1 = \sigma_2 = 0.001\text{ S/m}$ ,  $\theta = 90^\circ$ , 層の厚さ  $D = 6.4$ , 変位  $d = \lambda/4$  とする。地中の不均質さのパラメータ  $s$  は、分散0.01の正規分布で与え、その平均値を  $1/20 \sim 1/2$  まで  $1/20$  毎に変化させる。また、不均質媒質の分布  $\gamma$  は、 $10 \sim 100$  個/ $m^3$  の間で10個/ $m^3$  毎に変化させる。この  $s$  と  $\gamma$  による不均質大地モデルを用いて、2次元解析と同様に、相互相関値により地下変位の検出可能範囲を評価する。図4(a)(b)に比較的均質大地( $s = 1/20$ ,  $\gamma = 10$  個/ $m^3$ )と不均質大地( $s = 1/4$ ,  $\gamma = 50$  個/ $m^3$ )における地中モデルとGPRプロフィールを示す。図4(a)の比較的均質な場合には地下変位を確認できるが、図4(b)の不均質大地ではクラッタの影響により変位検出は困難になることが分かる。図5に  $s$  と  $\gamma$  に対する相互相関値を示す。図5中の破線は相関値0.8を示している。ここでも2次元解析と同様に、相関値が0.8以上を検出可能とすると、0.17の媒質が100個/ $m^2$ から0.36の媒質が10個/ $m^2$ の割合で分布している大地であれば、 $1/4$  波長程度の変位を検出できることを明らかにした。

これまでに示したような多くのモデルを計算するにあたって、GPU クラスタとモデル分割法を用いて効率化を図った。ここで、本手法の計算時間をCPUと比較することで評価する。比較のCPUはIntel Core i7 980X 3.33GHz 1コアおよび仮想10コアと、Intel

Core i7 2600K 3.4 GHz 10 コア(5CPUs 各 2 コア使用)である。CPU のコンパイラは gcc 4.4.3 であり最適化 O3 を与える。

図 6 (a)に 2 次元解析の計算時間を示す。図 6 (a)より、モデル 100 個の計算時間は、CPU 1 コアで 556.7 時間(約 23 日)、仮想 10 コアで 92.8 時間(約 4 日)、10 コア(5 CPUs 各 2 コア使用)で 46.5 時間(約 2 日)であった。一方で、GPU 10 台で構成される GPU クラスタを用いてモデル分割法により解析することで、100 個のモデルを 0.5 時間で行うことができた。図 6 (b)に 3 次元解析における 100 モデルの解析時間を示す。ここで、CPU におけるモデル 100 個の計算は、測定困難な時間になることが予想されるため、モデル 1 個の計算時間を測定し、これから概算している。図 6 (b)から、モデル 100 個の計算時間は、CPU 1 コアで 35368 時間(約 50 ヶ月:4 年)、仮想 10 コアで 5895 時間(約 250 日:約 10 ヶ月)、10 コア(5 CPUs 各 2 コア使用)で 3266 時間(約 136 日:約 5 ヶ月)であった。一方で、GPU 10 台の GPU クラスタを用いたモデル分割法により、100 個のモデルを 22 時間で行うことができた。以上のように、本研究のような複数モデルを計算する必要がある統計的な解析は、これまでの CPU を用いた方法では計算時間が長くなるため現実的ではなかったが、GPU クラスタの利用によって解析が容易になることを示した。

#### 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 5 件)

- [1] 園田潤, 小関勇氣, 佐藤源之, "GPU クラスタによる FDTD 法の高速度化", 電子情報通信学会論文誌 C, pp. -, July 2015.
- [2] 今野海航, 園田潤, 金澤靖, 佐藤源之, "深度センサとポイントクラウドライブラリを用いた FDTD 実環境数値モデルの構築", 電子情報通信学会論文誌 Vol. J98-C, No. 5, pp. 87-95, May. 2015.
- [3] 園田潤, 小関勇氣, 佐藤源之, "OpenACC を用いた GPU による各種 FDTD 法の高速度化評価", 電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J97-C, No. 8, pp. 324-327, Aug. 2014.
- [4] 小関勇氣, 園田潤, 海野啓明, 佐藤源之, "FDTD 法の単精度演算における丸め誤差伝播の定量化", 電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J97-C, No. 5, pp. 205-208, May 2014.
- [5] 小関勇氣, 園田潤, 金澤靖, 佐藤源之, "GPU を用いた FDTD 法による実環境ポイントベクトル分布の高速 3 次元可視化", 電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J96-C, No. 6, pp. 151-155, June 2013.
- [6] J. Sonoda and M. Sato, "Simple Formulation for Numerical Dispersion Error by 2-D and 3-D FDTD Method", IEICE Trans. C, (under reviewed).

[7] J. Sonoda and M. Sato, "Statistical Analysis for Detection Characteristics of Subsurface Displacement by Ground Penetrating Radar Using FDTD Method with GPU Cluster", (to be submitted).

[学会発表](計 3 2 件)

- [1] 今野海航, 園田潤, 金澤靖, 佐藤源之, "深度センサを用いた実環境 FDTD 数値モデル構築と商用電磁界シミュレータへの適用", 電子情報通信学会総合大会講演論文集 CS-1-10, pp. S18-S19, March 2015.
- [2] 園田潤, 渡邊学, 米澤千夏, 佐藤源之, "複合レーダ技術を用いた大規模自然災害における効率的な搜索支援手法の開発", 第 33 回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, pp. 105-106, Sept. 2014.
- [3] 今野海航, 園田潤, 金澤靖, 佐藤源之, "深度センサを用いた実環境 FDTD 数値モデル構築の誤差評価", 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, C-15-18, Sept. 2014.
- [4] 園田潤, 小関勇氣, 佐藤源之, "GPU クラスタによる FDTD 法の高速度化と大規模・実問題電磁界シミュレーションへの応用", 電子情報通信学会エレクトロニクスシミュレーション研究会技術報告 EST2013-112, pp. 7-11, Sept. 2014.
- [5] 園田潤, "自然災害被害軽減のための GPU クラスタを用いた大規模・実問題・高速電磁界シミュレーション", 第 12 回全国高専テクノフォーラム in Sapporo 札幌コンベンションセンター, Aug. 2014.
- [6] 園田潤, "GPU クラスタを用いた FDTD 法による大規模実問題高速電磁界解析", 第 3 回生命医薬情報学連合大会, 仙台国際センター, Oct 2014.
- [7] 園田潤, 高木優太, 佐藤源之, "立ち上がりの遅いパルスを用いた TDR による土壌誘電率測定", 電気学会基礎・材料・共通部門大会講演論文集, 22-C-p-3, Aug. 2014.
- [8] 今野海航, 園田潤, 金澤靖, 佐藤源之, "実環境 FDTD 数値モデル構築のための深度センサの検討", 平成 26 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 1F1, Aug. 2014.
- [9] 佐久間諒, 園田潤, 佐藤源之, "GNSS 2 重相対測位によるレーダ計測位置決定の精度向上の検討", 平成 26 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 1F06, Aug. 2014.
- [10] 園田潤, 小関勇氣, 佐藤源之, "GPU クラスタを用いた FDTD 法による大規模・実問題高速電磁界シミュレーション", 計算工学講演会論文集, vol. 19, pp. 1-4, May 2014.
- [11] 園田潤, 渡邊学, 米澤千夏, 佐藤源之, "地中レーダと航空機搭載レーダを用いた大規模自然災害における効率的な搜索支援手法の開発", 電子情報通信学会総合大会講演論文集 B-2-51, March 2014.
- [12] 園田潤, 小関勇氣, 佐藤源之, "GPU クラスタによる FDTD・MW-FDTD 法の高速度化と大

規模・実問題電磁界数値シミュレーションへの応用", 電子情報通信学会総合大会講演論文集 CS-2-8, March 2014.

[13] 園田潤, "電磁波解析とレーダ技術による復興支援", 産学官連携フェア 2014winter みやぎ, 仙台国際センター, Jan 2014

[14] 園田潤, 渡邊学, 米澤千夏, 佐藤源之, "東日本大震災の行方不明者捜索における地中レーダの適用", 電子情報通信学会宇宙・航行エレクトロニクス研究会技術報告 SANE2013-56, pp.13-18, Nov. 2013.

[15] 園田潤, 小関勇気, 金澤靖, 佐藤源之, "GPU クラスタを用いた FDTD 並列計算による室内実環境 3 次元ポインティングベクトル分布の高速可視化", 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集 CS-1-4, pp.S6--S7, Sept. 2013.

[16] 園田潤, 渡邊学, 米澤千夏, 佐藤源之, "地中レーダを用いた東日本大震災の行方不明者および遺留品捜索", 平成 25 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 1D02, Aug. 2013.

[17] 今野海航, 園田潤, 金澤靖, 佐藤源之, "深度センサを用いた高速な FDTD 実環境数値モデルの構築", 電子情報通信学会エレクトロニクスシミュレーション研究会技術報告 EST2013-40, pp.189-194, July 2013.

[18] 園田潤, 小関勇気, 金澤靖, 佐藤源之, "GPU クラスタを用いた FDTD 法による 3 次元室内電波環境のリアルタイム可視化", 計算工学講演会論文集, vol.18, 4p, June 2013.

[19] 園田潤, 小関勇気, 佐藤源之, "OpenACC を用いた GPU による各種 FDTD 法の高速化評価", 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会技術報告 AP2013-19, pp.21-26, May 2013.

[30] 小関勇気, 園田潤, 佐藤源之, "GPU クラスタを用いた 3 次元 MW-FDTD 法による大規模電波伝搬解析の高速化", 電子情報通信学会総合大会講演論文集 CS-1-1, pp.S1--S2, March 2013.

[21] 園田潤, 小関勇気, 佐藤源之, "OpenACC を用いた GPU による 3 次元 MW-FDTD 法の高速化", 電子情報通信学会総合大会講演論文集 B-4-10, p.355, March 2013.

[22] 今野海航, 園田潤, 金澤靖, 佐藤源之, "深度センサとポイントクラウドデータを用いた FDTD 数値モデル構築のリアルタイム化", 電子情報通信学会総合大会講演論文集 B-1-53, p.53, March 2013.

[23] 柏葉祐輔, 園田潤, 昆太一, 佐藤源之, "地下構造推定のための簡易 TDR による土壌誘電率測定", 電子情報通信学会総合大会講演論文集 B-1-3, p.3, March 2013.

[24] 小関勇気, 園田潤, 昆太一, 佐藤源之, "GPU クラスタを用いた FDTD 法による地中レーダにおける地下変位検出特性の統計的解析", 電子情報通信学会環境電磁工学研究会技術報告, EMCJ2012-108, pp.37-42, Jan. 2013.

[25] 園田潤, "GPU クラスタを用いた高速地

下構造解析・GPU を用いた電波環境の高速可視化", 産学官連携フェア 2013winter みやぎ, 仙台国際センター, Jan 2013

[26] 園田潤, 小関勇気, Hee-Joon Kim, 佐藤源之, "OpenACC による高精度最適 2 次 FDTD 法の GPU 実装の評価", 2012 年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会講演論文集, CS-4, Sept. 2012.

[27] 小関勇気, 園田潤, 昆太一, 佐藤源之, "地中レーダによる不均質大地中の断層変位検出の FDTD 法を用いた検討", 2012 年電子情報通信学会エレクトロニクスソサイエティ大会講演論文集, B-2-6, Sept. 2012.

[28] 園田潤, 小関勇気, 佐藤源之, "OpenACC による FDTD 法の GPU 実装の高速化評価", 平成 24 年度電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, 1107, Aug. 2012.

[29] 小関勇気, 園田潤, 昆太一, 佐藤源之, "GPU クラスタを用いた FDTD 法による地中レーダ順問題解析の高速化", 平成 24 年度電気関係学会東方支部連合大会講演論文集, 2B15, Aug. 2012.

[30] 小関勇気, 園田潤, 金澤靖, 佐藤源之, "GPU を用いた FDTD 法による実環境ポインティングベクトル分布の高速 3 次元可視化", 電子情報通信学会環境電磁工学研究会技術報告, EMCJ2012-33, pp.7-11, July 2012.

[31] 園田潤, "OpenACC による FDTD 法の GPU 実装の高速化評価", GTC JAPAN 2012, 東京ミッドタウン, July 2012

[32] 園田潤, 小関勇気, Kim Hee Joon, 佐藤源之, "高精度化した最適 2 次 FDTD 法の GPU 実装による高精度高速電磁界解析", 計算工学講演会論文集, Vol.17, May 2012.

〔産業財産権〕  
出願状況(計1件)

名称: 誘電率測定装置および誘電率測定法  
発明者: 園田潤, 柏葉祐輔, 佐藤源之  
権利者: 独立行政法人国立高等専門学校機構  
種類: 特許  
番号: 2013-094452  
出願年月日: 2013年4月24日  
国内外の別: 国内

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

園田潤 (SONOA, Jun)  
仙台高等専門学校・知能エレクトロニクス  
工学科・教授  
研究者番号: 30290696