

令和 5 年 5 月 10 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K05331

研究課題名(和文)有限時間領域における囲い込み法の全面的展開

研究課題名(英文)Total development of the time domain enclosure method

研究代表者

池畠 優 (Ikehata, Masaru)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授

研究者番号：90202910

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：1. 外部領域または全空間において、波の発信場所と同じ場所で有限時間観測された波を用いた囲い込み法を展開し、物体の存在する場所、形状、さらには表面の状態を定量的または定性的に抽出する公式を、波動方程式やMaxwell方程式系に対して、物体に対するさまざまな仮定のもとで確立した。  
2. 未知の物体が埋め込まれた有界領域の境界でうまいinputを与えて内部を伝搬する熱や波動を励起し同じその境界でのoutputを用いて物体の存在する場所あるいは物体自身の定性的情報を抽出する囲い込み法を、熱方程式、波動方程式、熱弾性体方程式や分数べき拡散方程式等に対して確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

非破壊検査等さまざまな応用を持つ障害物逆問題において有限時間領域におけるデータをどう使うかという問いに対する接近方法として、囲い込み法が様々な問題を通してさらに展開された。熱方程式、波動方程式、熱弾性体の方程式、Maxwell方程式系等によって支配された逆問題に取り組む過程で、囲い込み法は新たなアイデアを加えてさらに柔軟な方法になった。今後ますます応用範囲を見出すことは疑いの余地がない。

研究成果の概要(英文)：1. The enclosure method using a wave observed over a finite time interval at the same place where the wave originated is developed.

The governing equations of the wave are scalar wave equations or the Maxwell system in an exterior or the whole space. The method enables us to extract various information about an unknown obstacle, such as location, shape and the state of the surface.

2. The enclosure method in a bounded domain is developed. The domain contains an unknown discontinuity, and the method employs a signal propagating inside the domain which is raised by prescribing a suitable input on the outer surface and observed on the same surface. A general and natural idea of the construction of the needed input is introduced. It is shown that the idea covers various inverse obstacle problems, in which the signals governed by the heat equation, wave equation, a thermoelastic system of equations and a diffusion equation with a space dependent fractional power time derivative.

研究分野：偏微分方程式に対する逆問題

キーワード：inverse problems enclosure method inverse obstacle problem wave equation heat equation fractional diffusion Maxwell system thermoelasticity

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

本研究で言うところの逆問題とは、さまざまな物理量からなる観測データから未知の対象に関する情報をいかに抽出するかという問題である。多くの重要な逆問題は偏微分方程式に対する逆問題として定式化され、観測データはその解を使って記述される。

特に、生体あるいは材料などの非侵襲的あるいは非破壊的な検査などに由来する媒質中の空洞、介在物、亀裂、障害物などの不連続性を抽出する逆問題における直接的解法を見出す方向の研究で、20世紀末、筆者は探針法(the probe method)および囲い込み法(the enclosure method)を発見した。この二つの方法は、その時期を前後して提出された(1) Colton-Kirsch の線形サンプリング法(2) Kirsch の因数分解法(3) Potthast の特異源泉法とともに不連続性を抽出する逆問題における直接的解法の一環を形成し、広く世界の専門家に認知され、おびただしい関連論文が出版されている。その証拠に海外では、探針法は、例えば次の本、Handbook of Mathematical Methods in imaging, Vol.2, Otmar Scherzer (Editor), Springer, 2011,の第12章 Sampling Methods(Martin Hanke と 因数分解法の創始者 Andreas Kirsch が執筆)の12.4.4 The Probe Method (pp 542-544)でそのアイデアが解説されている。また囲い込み法は次の本,Linear and Nonlinear Inverse Problems with Practical Applications, Jennifer L. Mueller and Samuli Siltanen, Computational Science and Engineering, SIAM, 2012,の16.4 The enclosure method of Ikehata (pp 277-279)で一般向けに解説されている。

囲い込み法とは、簡単に言うと、未知の不連続性を含む既知の媒質内を伝わる、例えば熱や波動などの信号の支配方程式の大きなパラメータを含んだ特別な解と観測された信号から指示関数と呼ばれる関数を構成し、その漸近挙動から不連続性を囲い込む領域を見出して不連続性の存在する領域を上から評価する方法である。ただし、用いる特別な解やデータが有限個か無限個かに応じて得られる領域は異なってくる。囲い込み法は初期の段階では Laplace 方程式、電気インピーダンストモグラフィの連続体モデルにおける電位分布の支配方程式、固定波数における波の障害物による散乱を記述する Helmholtz 方程式等、時間に依存しない楕円型偏微分方程式を支配方程式とする逆問題における実現のみであった。

囲い込み法を、時間領域における熱や波動方程式で記述される、有限時間内に得られたデータを用いる不連続性を抽出する逆問題において実現することは囲い込み法創始以来の懸案の課題であった。この状況を完全に転換させたのは、空間1次元の問題を扱った研究代表者の論文(Ikehata, M., Appl.Anal., 86(2007), 963-1005)である。この論文で、空間次元1次元ではあるが、有限時間領域における熱および波動方程式を支配方程式とする逆問題における囲い込み法のさまざまな可能性を示した。その後、そこで展開した方法のいくつかは、本来の3次元の問題にも適用出来ることが分かり、さらに特筆すべきは、重要な連立偏微分方程式系である有限時間領域における粘弾性体の変形を記述する方程式系や Maxwell 方程式系を支配方程式とする波の物体散乱逆問題において囲い込み法が実現されたことである。

いよいよこの有限時間領域における囲い込み法を全面的に展開する時機が到来したと確信している。また最近の逆問題の動向を見ても、時間領域で得られたデータを再構成においてどう使うかに研究者側の関心も高まりつつある。しかしその数学的研究、特に支配方程式にあらわれる偏微分方程式に対する逆問題としてとらえた不連続性の再構成についての研究は、Belishev の境界制御法を基礎とした Oksanen の結果があるが、データはいわゆる Response 作用素そのもの、すなわち無限個であり、一個のデータで何が抽出できるかについては答えていない。それに対して囲い込み法は、データが1個(あるいは2個)または無限個の場合それぞれについてバージョンがある唯一の数学的に厳密な方法(途中で heuristic argument を用いないという意味)である。

## 2. 研究の目的

本研究では、研究代表者が創始した囲い込み法を用いて、有限時間領域における偏微分方程式の解を使って記述される観測データから不連続性を抽出する逆問題を研究するとともに、囲い込み法それ自身のさらなる可能性を徹底的に追及する。具体的には、つぎの(1)、(2)についてである。

(1) Maxwell 方程式系を支配方程式とする波の物体散乱逆問題。

前回の研究成果である論文 Ikehata, M., Inverse Problems and Imaging, 10(2016), 131-163 では、物体から離れた場所で、初期データを与えて波を発生させ、その波を物体に当て散乱させる。散乱された波を物体から有限の距離だけ離れた場所で有限時間観測する。

観測された波形データから物体の位置あるいは形状についての情報を抽出する問題を、波が定数係数の時間領域における Maxwell 方程式系に支配されるとして考察した。物体は完全導体であるとの仮定であったが、本研究ではこれをいわゆる Leontovich 境界条件あるいは transmission 境界条件により一般化した状況ではどうなるかを問題とする。Leontovich 境界条件の場合については、波を励起する源泉の台の中心と物体との最短距離と、物体表面上の定性的性質を記述する境界条件にあらわれる係数が背景から決まる対応する量より

大きい小さいかという、これら二つの情報を、二つの源泉に対応した Maxwell 方程式系の解である二組の電場の観測で抽出できることは前回の研究でわかってきたが(Ikehata, M., Inverse Problems and Imaging, 11(2017), no.1, 99-123), 係数そのものの値が抽出できるかどうかについては未解決であったのでこれにまず取り組みたい。その際順問題それ自身についてもその定式化について調査研究し、今後の研究のしっかりとした土台を構築することも怠っていけないことは言うまでもない。

さらに進んで、前回の研究成果 Ikehata, M., Inverse Problems, 31(2015) 085011(21pp) における単独の変数係数波動方程式についての結果を、変数係数 Maxwell 方程式系へ拡張することも大きな課題で、これについても取り組む。問題は、複雑な背景の中に埋め込まれた未知の介在物の存在の有無や、存在する場所についての上下からの評価を一組(あるいは二組)の観測データから抽出することである。この場合、単独で鍵となった比較原理のようなものがあるとは思えないので、新たな困難をどう克服するか興味深い。

(2) 囲い込み法それ自身の新たな展開。

主に二つの型の問題への展開を試みる。一つは、観測者から見て、既知の物体の背後に隠れていて幾何光学的に見えない物体についての情報を、観測者側から波を発生させて後方散乱データを有限時間観測する。ただし、波は既知の物体内部には侵入しないとす。このデータから隠れた物体についての情報を抽出せよという問題である。

まずはこれを波動方程式を用いて定式化し、囲い込み法をどのように実現するか考察する。この問題は、熱核の特に下からの評価と密接にかかわっていることはすでに前回までの研究で当たりがついているのでその周辺の膨大な文献の調査研究で足元を固め、詳細を把握し、具体的にまとめてゆきたい。もう一つは、有限の大きさを持った既知の物体内に埋め込まれた、未知の不連続性の位置や形状を、既知の物体表面上で波を励起し内部に波を送り、伝搬してきた波を表面上で有限時間観測して抽出する問題である。この問題は、支配方程式が熱方程式や粘弾性体の方程式系に対する逆問題として定式化される場合、囲い込み法のさまざまな version が実現されてきた。ところが、前回の研究によれば、物体の外部の仮想的に与えた点と物体内部に埋め込まれた物体との最短距離をその点に応じた自然な時間領域における Neumann データを物体表面に与えて波を発生させて抽出する方法を見出した。この方法の弾性体、粘弾性体、そして熱弾性体等の支配方程式系への拡張を試みる。特に、最後の熱弾性体については、古典的な支配方程式は熱方程式と弾性体の方程式の結合系で、後者は有限伝搬性があるが前者は有限伝搬性がなく、この新しい囲い込み法がどのように実現できるか、興味深い。

### 3. 研究の方法

ひたすら考察を重ね問題点と証明を見出すことが中心である。研究目的で述べた基本的で重要な逆問題を取り上げ考察するが、そのために、広く逆問題および偏微分方程式について文献収集を行い、知見を高め、様々な研究集会に参加し、他の研究者との情報交換及び研究討論を行う。

### 4. 研究成果

(1) Maxwell 方程式系への有限時間領域における囲い込み法の展開および関連する結果。

物体から離れた場所で、初期データを与えて波を発生させ、その波を物体に当て散乱させる。散乱された波を物体から有限の距離だけ離れた場所で有限時間観測する。観測された波形データから物体の位置あるいは形状についての情報を抽出する問題を、波が定数係数の時間領域における Maxwell 方程式系に支配されるとして考察し、物体表面における Leontovich 境界条件にあらわれる係数と物体表面の形状の定量的情報を抽出することができた。さらに進んで、全空間、時間領域における Maxwell 方程式系を支配方程式とする、既知の等方的均質媒質内に置かれた未知の等方的非均質な介在物の逆問題を考察し、高々二組の有限時間にわたる逆散乱データを使った時間領域囲い込み法を確立した。その際介在物上の比誘電率および比透磁率に対する跳びの条件としていままでにない両者を含んだ条件を見出した。この条件は既存の比透磁率一定の下での研究における跳びの条件と一線を画するものである。ただし、背景媒質が非均質な場合にはさらなる考察が必要である。これに関連するが、背景媒質が2層である問題における時間領域における囲い込み法を、各層で伝搬速度が異なる単独の波動方程式に対して実現できた。これは Maxwell 方程式系に対する2層問題の考察に対しての重要なステップになる知見である。さらに、既知の物体背後に未知の物体が存在するか否かの判定および観測場所からの未知の物体への距離の上からの評価を与える方法を、信号の支配方程式が既知の物体の外部領域での単独の波動方程式である場合について、有限時間領域における囲い込み法を実現した。

(2) 前回の研究(基盤研究(C) 25400155)において単独の波動方程式に対して導入した、時間領域における Response operator のグラフ上の1点を用いた囲い込み法の新たな展開。

この囲い込み法が熱方程式と弾性体の方程式を含む熱弾性体の振動の支配方程式で記述される物体内部空洞逆問題において実現できるかどうかは、次の点で興味深い問題であった。そ

これは、弾性体の方程式によって支配される信号は有限伝搬性があるが、熱方程式によって支配される信号は有限伝搬性がないという点である。これが結合された熱弾性体の方程式によって支配された時間領域における信号を使って物体内の空洞についての幾何学的情報を抽出することができるか、という問題は自明ではない。この問題に対して、物体が均質かつ等方的な場合に対応する線形の支配方程式によって支配される信号を用いた時間領域における囲い込み法が展開できることを示した。熱弾性体については、基本的結果が得られたと考えているが、まだ解明できていない点もあることを明確に理解できた。

囲い込み法において物体境界上での入力として与えるノイマンデータを波動方程式の全空間における初期値問題の解を用いて生成しそれを熱方程式の逆問題に適用するというアイデアを見出した。詳しくは、物体内部の空洞の幾何学的情報を、物体表面上の一組の熱流束と対応する温度場の有限時間にわたるデータから抽出する問題について支配方程式が熱方程式であるとして考察した。得られたのは次の知見である。全空間における波動方程式の初期値問題を解いて得られる解の物体表面上におけるノイマンデータに比例した熱流束を与えると、前回の研究で導入した囲い込み法をそのまま適用しただけでは空洞の情報が指示関数の漸近挙動の主要項から抽出できない。しかし用いた波動方程式にパラメータを入れて伝搬速度を無限大に持っていき、ある増大の仕方をさせたときのみ空洞の幾何学的情報が得られる。これは囲い込み法の可能性を探る実験的な試みであったが他の応用も考えられると確信している。

波動方程式で記述される物体内の障害物の幾何学的情報を物体表面上の一組の有限時間にわたるデータから抽出する問題について囲い込み法を用いて考察し、波動方程式の時間反転不変性を積極的に利用するアイデアを導入した。その結果未知の障害物を含む任意の点を中心とした最小の球の半径を求める公式を確立した。さらにこの考えを熱方程式で記述される物体内部の空洞に対する類似の逆問題で展開した。熱方程式は有限伝搬性がなくさらに時間反転不変性もないが、補助の、パラメータを含んだ波動方程式の初期値問題を考え、その解の時間反転から作られるうまい熱流速を与えると、パラメータ無限大で、対応する表面温度場から未知の障害物を含む任意の点を中心とした最小の球の半径を求める公式を確立した。時間反転不変性がなくともうまい熱流束を与えれば波動方程式と同じ結果が得られるのである。

熱弾性体の方程式系で記述される、物体内の空洞の幾何学的情報を物体表面上の有限時間にわたる一組のデータから抽出する問題について、新たなアイデアをさらに加えた囲い込み法を導入して考察した。その結果、任意に与えられた点を中心とした未知の空洞を含む最小の球を求める公式を確立した。その方法は、次の三つのステップからなる。(a)与えられた点を共通の中心とする、物体を囲む二つの球の間のシェル状領域上に台を持つ初期条件を与えその下で空間全体で熱弾性体の方程式系を解く。(b)(a)で得られた解から物体表面上に与えるノイマンデータを構成する。(c)(b)で構成したノイマンデータを入力として得られた物体表面上の応答から囲い込み法における指示関数を計算してその漸近公式から求める最小の球の情報を引き出す。この方法は単一の入力を使うだけであり、における時間反転不変性に立脚した方法と比べても極めて単純であり、その単純性故、時間反転不変性を持たない熱弾性方程式系やもとの熱方程式などを含むより広範囲な方程式で記述される障害物逆問題に適用可能な方法と期待される。この意義は、囲い込み法において、物体境界上での入力として与えるノイマンデータを、時間反転不変性という限られた性質を用いることなく、シェル状の台を持つ初期条件のもとで支配方程式を全空間で解き、その解を用いて生成するという極めて簡潔かつ単純なアイデアが見つかったことである。これは当初予想しなかったことであり、この考えの今後のさらなる展開が大いに期待される。そのひとつとしてこの時間領域囲い込み法の有効性を端的に示すため、時間領域における Stokes 方程式系を支配方程式とする有界領域における障害物逆問題へ応用した。その結果、従来の時間領域囲い込み法に相当する結果に加えて任意に与えられた点を中心とした未知の障害物を含む最小の球を求める公式を確立した。既存の先行結果と比較して得られた情報自体が新しくしかも用いるデータは一組であり強力な結果となっている。投稿先は現在検討中である。

時間微分が空間変数に依存する分数べき拡散方程式によって支配される新しい型の障害物逆問題およびそれに関連する逆問題。3次元空間において時間微分が空間変数に依存する分数べき拡散方程式によって支配される新しい型の障害物逆問題を提出し、その典型的場合において囲い込み法の実現を考察した。時間微分にあらわれる空間変数に依存する分数べきは、有界領域内部の滑らかな境界を持つ未知の開集合(物体)の境界付近において背景の既知の一定の分数べきから不連続に飛んでいるという従来の飛びの条件とともにそれを緩めたしかし連続性よりも強い飛びの条件まで満たすものも対象としている。この問題に対して、一組の Cauchy データを用いた時間領域における囲い込み法を実現しこの未知の物体の幾何学的情報を抽出する公式を確立した。得られた情報は、領域の外部に任意に与えられた点を中心を持ちその外部が未知の物体を含む最大の球の半径の値および任意に与えられた点を中心を持ち物体を内部に含む最小の球の半径の値の二つである。さらに、この研究にいずれ関係することになると期待される、3次元の時間周期的な波動方程式すなわち Helmholtz 方程式に対する逆源泉問題および不連続な媒質による障害物逆問題において一組

の Cauchy データを用いた囲い込みを確立した。特にその際重要な源泉領域の特異点と囲い込み法に現れる方向から決まる複素数の係数について、源泉が錐的特異性を持つ場合において詳細に解析した。その結果、特異性が円錐状である場合、データからその頂点の座標を陽に決定する公式とともに、円錐が向いた方向を決定する 5 次方程式を見出したのは特筆すべき点である。

そのほか囲い込み法に関連する結果として、探針法と囲い込み法の基礎である、Helmholtz 方程式に対する Dirichlet-Neumann 写像に対する不等式系の、特に下からの評価の証明法の再考を行い、従来とは異なる、偏微分方程式に基づいた、より一般的な方法による証明を与えた。また、Laplace 方程式で支配される 2 枚の板の溶接部の評価に関連する亀裂の逆問題における Kelvin 変換を用いた囲い込み法をさらに進め、より詳しい評価を得るための公式を確立し、それをもとに数値実験をした。さらに進んで、弾性体の方程式系で支配される亀裂の逆問題にこの方法を適用することも考察した。大筋はできているが、最終的にはまだ細部に追加すべきことがあることがわかり、投稿には至っていない。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Masaru Ikehata	4. 巻 37
2. 論文標題 Reconstruction of a source domain from the Cauchy data: II. Three-dimensional case	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Inverse Problems	6. 最初と最後の頁 125004(29pp)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1361-6420/ac2fb9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Masaru Ikehata	4. 巻 28
2. 論文標題 The enclosure method for inverse obstacle scattering over a finite time interval: VI. Using shell-type initial data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Inverse Ill-Posed Probl.	6. 最初と最後の頁 349-366
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1515/jiip-2019-0039	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ikehata, M., Kawashita, M. and Kawashita, W.	4. 巻 13
2. 論文標題 On finding a buried obstacle in a layered medium via the time domain enclosure method in the case of possible total reflection phenomena	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Inverse Problems and Imaging	6. 最初と最後の頁 959-981
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3934/ipi.2019043	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Ikehata, M.	4. 巻 27
2. 論文標題 Prescribing a heat flux coming from a wave equation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Inverse Ill-Posed Probl.	6. 最初と最後の頁 731-744
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1515/jiip-2018-0031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ikehata, M.	4. 巻 28
2. 論文標題 The enclosure method for the heat equation using time-reversal invariance for a wave equation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Inverse Ill-Posed Probl.	6. 最初と最後の頁 93-104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/jiip-2018-0103	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ikehata, M.	4. 巻 26
2. 論文標題 On finding a cavity in a thermoelastic body using a single displacement over a finite time interval on the surface of the body	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Inverse Ill-Posed Probl.	6. 最初と最後の頁 369-394
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/jiip-2017-0066	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hauptmann, A., Ikehata, M, Itou, H. and Siltanen, S.	4. 巻 35
2. 論文標題 Revealing cracks inside conductive bodies by electric surface measurements	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Inverse Problems	6. 最初と最後の頁 025004(24pp).
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6420/aaf273	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ikehata, M.	4. 巻 27
2. 論文標題 The enclosure method for inverse obstacle scattering over a finite time interval:V. Using time-reversal invariance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Inverse Ill-Posed Probl.	6. 最初と最後の頁 133-149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/jiip-2018-0046	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ikehata, M.	4. 巻 13
2. 論文標題 On finding the surface admittance of an obstacle via the time domain enclosure method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Inverse Problems and Imaging	6. 最初と最後の頁 263-284
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/ipi.2019014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ikehata, M.	4. 巻 42
2. 論文標題 Detecting a hidden obstacle via the time domain enclosure method. A scalar wave case	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Math Meth Appl Sci.	6. 最初と最後の頁 1413-1431
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/mma.5433	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ikehata, M. and Kawashita, M.	4. 巻 12
2. 論文標題 On finding a buried obstacle in a layered medium via the time domain enclosure method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Inverse Problems and Imaging	6. 最初と最後の頁 1173-1198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/ipi.2018049	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ikehata, M.	4. 巻 -
2. 論文標題 Extracting discontinuity using the probe and enclosure method	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 J. Inverse Ill-Posed Probl.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/jiip-2020-0082	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -



1. 著者名 Ikehata, M.	4. 巻 -
2. 論文標題 On finding a penetrable obstacle using a single electromagnetic wave in the time domain	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 J. Inverse Ill-Posed Probl.	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/jiip-2020-0150	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ikehata, M., Kian, Y.	4. 巻 17
2. 論文標題 The enclosure method for the detection of variable order in fractional diffusion equations	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Inverse Problems and Imaging	6. 最初と最後の頁 180-202
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/ipi.2022036	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ikehata, M.	4. 巻 38
2. 論文標題 Revisiting the probe and enclosure methods	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Inverse Problems	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6420/ac70f2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件(うち招待講演 11件/うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Masaru Ikehata
2. 発表標題 Prescribing a heat flux coming from a wave equation
3. 学会等名 The XIII international scientific conference and young scientist school ``Theory and Numerics of Inverse and Ill-posed Problems'' (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaru Ikehata
2. 発表標題 The time domain enclosure method for an inverse obstacle problem governed by the Maxwell system
3. 学会等名 DAYS on DIFFRACTION 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaru Ikehata
2. 発表標題 On finding a penetrable obstacle via the time domain enclosure method or the Maxwell system
3. 学会等名 Eurasian Conference on Applied Mathematics-2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaru Ikehata
2. 発表標題 On finding a penetrable obstacle via the time domain enclosure method for the Maxwell system
3. 学会等名 RIMS Workshop "Theory and practice in inverse problems" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ikehata,M.
2. 発表標題 On finding a cavity in a thermoelastic body using a single displacement measurement over a finite time interval on the surface of the body
3. 学会等名 9th International Congress on Industrial and Applied Mathematics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ikehata, M.
2. 発表標題 Recent topics on the time domain enclosure method
3. 学会等名 Inverse problems for partial differential equations in honor of Professor Masaru Ikehata on the occasion of his 60th birthday (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ikehata, M.
2. 発表標題 Recent developments of the time domain enclosure method for the Maxwell system
3. 学会等名 RIMS Workshop on Inverse problems for partial differential equations and related areas (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ikehata, M.
2. 発表標題 On finding an obstacle embedded in the rough background medium via the enclosure method in the time domain
3. 学会等名 Minisymposium M42 Inclusion detection methods in inverse problems in AIPC2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ikehata, M.
2. 発表標題 Detection and range estimation of a hidden object using the time domain enclosure method
3. 学会等名 Geometry and Inverse Problems in Cooperation with A3 FORESIGHT PROGRAM (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池島 優
2. 発表標題 時間領域における囲い込み法の展開
3. 学会等名 日本数学会2023年度年会2022年度第21回解析学賞受賞特別講演（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 池島 優
2. 発表標題 指数管函数と逆問題
3. 学会等名 2022年度建設部会例会・講演会，公益社団法人日本技術士会中国本部（招待講演）
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>広島大学研究者総覧 池島優  <a href="http://seeds.office.hiroshima-u.ac.jp/profile/ja.cd4232f7ce53380a520e17560c007669.html">http://seeds.office.hiroshima-u.ac.jp/profile/ja.cd4232f7ce53380a520e17560c007669.html</a>          Masaru Ikehata Researchgate  <a href="https://www.researchgate.net/profile/Masaru_Ikehata">https://www.researchgate.net/profile/Masaru_Ikehata</a>          ResearchGate</p>
---

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------