

電磁界逆散乱解析

電磁界逆散乱解析調査専門委員会編

目次

1. はじめに	3	6. 拡張Tマトリックス法 (石田 健一)	32
1.1 背景	3	6.1 はじめに	32
1.2 目的	3	6.2 基礎となる方程式	32
1.3 内外の趨勢	3	6.3 観測できる情報	33
1.4 内容	3	6.4 Tマトリックス	33
2. 逆散乱問題の性質 (竹中 隆)	5	6.5 非放射等価電流分の構成による再構成法	34
2.1 非放射波源	5	6.6 まとめ	36
2.2 逆解析の不安定性	6	6.A 付録	36
2.3 自由度	8	7. RCSの角度変化を用いた手法 (白井 宏)	38
3. Extended Born法 (横田 光広)	12	7.1 はじめに	38
3.1 はじめに	12	7.2 凸型多角柱状散乱体	38
3.2 領域積分方程式	12	7.3 凹型多角柱状散乱体	40
3.3 Born近似	13	7.4 滑らかな曲面を含む多角柱状散乱体	41
3.4 反復Born近似	13	7.5 結論	43
3.5 拡張Born近似	14	8. SEABED法 (阪本 卓也)	45
3.6 擬似線形近似法	14	8.1 SEABED法の適用範囲と応用	45
3.7 歪Born近似	15	8.2 境界散乱変換と逆境界散乱変換	45
3.8 正則化について	16	8.3 SEABED法と推定像改良手法	46
3.9 数値計算例	17	9. Time-reversal MUSIC法 (三輪 空司)	50
3.10 まとめ	17	9.1 はじめに	50
4. マルチグリッド最適化法 (田中 充)	19	9.2 MUSIC法	50
4.1 まえがき	19	9.3 Time-reversal MUSIC法	51
4.2 電磁波逆散乱問題	19	9.4 Time-reversal MUSIC法の適用例	53
4.3 非線形最適化問題の解法	20	9.5 まとめ	55
4.4 非誘電率の再構成アルゴリズム	21	10. FBTS法 (田中 俊幸)	57
4.5 数値例	21	10.1 はじめに	57
4.6 むすび	24	10.2 FBTS法	57
5. 遺伝的アルゴリズム (孟 志奇)	25	10.3 数値結果	60
5.1 基本的な考え方	25	10.4 付録	61
5.2 基本手順	25	11. 計測データの信号処理法 (西本 昌彦)	63
5.3 パフォーマンス	26	11.1 まえがき	63
5.4 探索能力	28	11.2 識別のための特徴量	63
5.5 問題点と改良	28	11.3 ターゲット識別のための信号処理法	64
5.6 逆散乱問題への応用例	30	11.4 識別性能の評価	65
		11.5 むすび	66
		12. あとがき	67

電磁界逆散乱解析調査専門委員会委員

委員長	竹中 隆(長崎大学)	委員	佐藤 亮一(新潟大学)
幹事	西本 昌彦(熊本大学)		白井 宏(中央大学)
幹事補佐	田中 俊幸(長崎大学)		立居場 光生(有明工業高等専門学校)
委員	石田 健一(九州産業大学)		田中 充(大分大学)
	海老原 聡(大阪電気通信大学)		堀 潤一(新潟大学)
	賈 洪延(九州大学)		松岡 剛志(九州産業大学)
	阪本 卓也(京都大学)		三輪 空司(群馬大学)
	佐藤 亨(京都大学)		孟 志奇(福岡大学)
	佐藤 源之(東北大学)		横田 光広(宮崎大学)

1. はじめに

1.1 背景

生命を脅かす災害や病気から人々を守り、安全・安心な社会を構築していくことは、現代社会に課せられた重要な課題である。社会インフラの面では、社会基盤施設の多くを占めるコンクリート建造物の安全性の確保が大きな問題となっている。コンクリート建造物は、材料そのものに起因する経年劣化はもちろん、地震や台風などの自然災害による損傷、施工時の不良工事による脆弱性が建造物の耐久性を損ね、安全性を脅かす大きな原因となる。したがって、建造物を定期的に検査・診断し、適切に維持管理してることが、安全性を確保するための最も確実な方法である。そのためには、建造物を傷つけることなく内部に発生している劣化や変状を高精度に検知し、その状態を定量的に評価するための信頼性の高い検査技術の開発が必要不可欠である。一方、健康の面では、病気を予防したり早期発見することにより、健康で安心な生活ができる社会を実現することが、日本を含む先進国の果たすべき課題である。中でも、日本人の死因のトップである癌疾患の早期発見・早期治療は、日本が真っ先に取り組むべき最重要課題である。例えば、近年増加傾向にある乳がんは、X線マンモグラフィ（乳房エックス線検査装置）を併用した集団検診が行われるようになり、早期発見が可能となってきている。しかし、最も罹患率の高い40歳代は高濃度乳腺乳房や不均一高濃度異常が多く、正確な診断は難しい。したがって、集団検診において年齢に関係なく乳がんを高精度に検出できる低コスト画像診断技術の開発が急務である。さらに、原子力発電所などの重要建造物の長期安定性確保のためには、地下基礎構造の計測モニタリングが欠かせない。また、有害物質の拡散による土壌・地下水汚染の監視も、都市の安全性から重要な課題である。このように、安全・安心な社会の構築にはモニタリングのためのセンシング技術が深く関わっており、高精度で、かつ高い安全性をもつ低コストのセンシング技術の開発が、安全・安心な社会の構築の鍵を握っている。

1.2 目的

センシング技術としては対象物を傷つけることなく計測を行える非破壊・非侵襲計測技術であることが望まれる。マイクロ波・光を用いる非破壊・非侵襲計測技術ではレーダが用いられている。通常のレーダの原理では、対象領域内に送出されたパルス波が電氣的性質の変化する場所で反射して受信アンテナの位置に戻ってきたときの遅延時間から反射位置を決定する。また、反射波が戻ってきた方向から反射物体の方向を決定できる。すなわち、通常のレーダは電波を反射した物体の存在、方向、距離を探知する機器で

ある。最近では、物体の有無だけでなく、その物体が何であるかを見極めたいという要求が高くなっている。

電磁波を対象物体に照射し、その対象物体からの散乱波を測定することにより、対象物体の位置、大きさ、形状、更に電氣的特性を推定する逆散乱問題は地中、生体、建造物、食品などの内部を安全に非接触、非破壊、非侵襲で映像化する技術に密接に関係しているため、逆散乱解析に基づくイメージング法は対象物体の詳細な内部構造を高精度に可視化する有効な計測技術となり得る。ここ二十年でコントラストの高い散乱体に対する様々な逆散乱解析手法が開発されてきており、その有効性は益々高まってきている。このような現状を鑑み、本調査専門委員会は電磁界逆散乱解析手法の最近の理論的な進展や実験による検証に関して調査を行い、今後の新しい解析手法と各種応用技術の動向等を展望することを目的として設置された。

1.3 内外の趨勢

電磁界逆散乱解析手法の初期のものとして、1970年代末に提案された回折トモグラフィ法が知られている。この手法の原理は1969年のWolfの論文に基づいており、逆散乱問題特有の非線形性を線形近似できる場合にのみ有効な方法である。1980年代はこの回折トモグラフィ法を前提として計測環境の影響等を考慮した議論がなされたが、本質的に線形近似であるため、コントラストの低い対象物体しか取り扱えない欠点を有していた。この問題を克服するため、1980年代末に逐次線形化法が提案されると、多重散乱を考慮した様々な逆散乱解析手法が開発されるようになった。さらに、ニューラル・ネットワークや遺伝的アルゴリズム等の全く線形化を行わない逆散乱解析手法も提案され、比較的コントラストの高い対象物体も取り扱えるようになった。一方、逆散乱問題のもう一つの本質的な性質である非適切性を克服することも重要な課題であり、安定性が保証された解析を行うために様々な正則化法が開発されている。最近では、レベルセット法や時間反転法なども電磁界逆散乱解析に適用されており、国外では数多くの新しい視点に立った逆散乱解析手法が提案されている。国内においても、到来方向推定法などの適用が検討されている。これまでに提案されているいくつかの逆散乱解析手法に対しては実験データによる検証等も行われており、コントラストの高い対象物体の電氣定数分布を可視化できることが示されている。しかし、実データを処理するには記憶容量や処理速度に関して計算機への負荷が大き過ぎるなど、逆散乱解析手法に基づくイメージング技術はまだ未成熟な段階にあり、地中レーダの一部を除いて実用の域に達した信頼性のあるものは少ないため、今後の更なる研究開発が望まれる。

1.4 内容

委員長、幹事及び幹事補佐で検討した結果、電磁波の逆