

氏 名	高 嵐
学位(専攻分野)	博 士 (学 術)
学 位 記 番 号	博 甲 第 168 号
学位授与の日付	平成 10 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科・専 攻	工芸科学研究科 情報・生産科学専攻
学 位 論 文 題 目	Theory of Scattering from Periodic Random Surfaces and Random Media
審 査 委 員	(主査) 教 授 中 山 純 一 教 授 吉 田 靖 夫 教 授 堤 誠 近畿大学 教 授 小 倉 久 直

論 文 内 容 の 要 旨

周知のように、平坦な 2 媒質境界面での平面波の反射と屈折はスネルの法則に従う。しかし、境界面が周期的に変形すれば離散的な角度方向への回折が生じ、また、不規則に変形すれば全ての方向への散乱が生じる。申請者は、周期性による回折と不規則性による散乱が複合する周期的不規則表面による散乱問題、および、不規則性による散乱と多重反射が混在する乱れをもつ薄膜による散乱の問題を波動方程式のランダム境界値問題として確率過程論の立場から理論的に研究した。

学位論文は、7 章及び付録により構成されている。第 1 章は序論であり、散乱理論研究の背景と研究方法、論文の構成について述べている。

第 2 章、第 3 章と第 5 章は、周期的不規則表面による平面波の散乱を確率汎関数を用いて解析している。周期的不規則表面のモデルとして、空間的インパルス周期列において、個々のインパルスの高さがガウスランダム系列または 2 値確率系列で変調されている場合を取り上げている。第 2 章では、まず、上記のような周期的不規則表面は周期定常過程となること、周期定常過程の移動不変性に関する群論的考察より散乱波の形が周期定常過程と指数因子の積となること、その結果、散乱波のコヒーレント部分(平均値)は、離散的な方向だけに回折されることを明らかにしている。次に、周期定常過程を調和級数表現すれば調和級数の係数は定常過程になるので、そのような定常過程をガウスランダム系列の確率汎関数として Wiener 展開で表現し、さらに、表面粗さが小さい場合に展開の核関数を TE 波の境界条件を解いて近似的に求めている。展開の核関数から、インコヒーレント散乱の角度分布、エネルギー保存則(光学定理)などの統計的散乱特性を計算し、結果を図示している。

第 3 章では、TM 平面波の場合を解析している。Wiener 展開の 0 次の核関数から Wood の異常回折が、1 次の核関数からインコヒーレントな Wood 異常散乱が、また、2 次の核関数から後方強調散乱と回折後方強調散乱が現れることを述べ、次に、そのような異常散乱と強調散乱は、周期的不規則表面に沿って伝搬する導波表面波と散乱波との結合によって発生することを明らかにしている。

第 4 章では、2 値定常確率系列の直交汎関数に関する理論を述べている。申請者は、2 値定常確率系列に関する多変数直交多項式と漸化式、母関数などの新しい公式を導き、直交汎関数展開の具体例を述べている。これらの公式を用いて、第 5 章では 2 値の周期不規則表面による散乱を定式化している。すなわち、波動関数を 2 値確率系列の直交汎関数展開を用いて表現し、近似的に求めた核関数を用いて、種々の散乱特性を計算している。

第 6 章では、ランダム誘電率をもつ薄膜による TE 平面波の散乱を理論的に検討している。散乱波を複素パラメータをもつ一様確率場の和に分解し、一様確率場をガウス確率場の確率汎関数として近似的に決

定して統計的散乱特性を系統的に計算している。その結果、後方及び鏡面反射方向ではインコヒーレント散乱が強調されること、そのような強調散乱は、単一散乱と薄膜表面と裏面間の多重反射の組み合わせで起こることを発見している。

第7章は結論であり、得られた成果を要約するとともに、未解決の問題についても述べている。付録では、ガウス確率過程の非線形理論としての Wiener 展開に関する諸公式をまとめている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、従来の多重散乱理論とは異なる確率汎関数の方法を用いて、周期的不規則表面およびランダム媒質による散乱と回折、散乱と多重反射の混合問題を理論的に研究したもので、解析の基礎となる概念を提案するとともに新しい知見を導いている。

第2、3、5章では、周期的不規則表面による平面波の散乱を定式化している。まず、周期的不規則表面の移動不変性を用いて、散乱波が周期定常過程と指数因子の積となることを示した。これは、よく知られた歪のない周期構造におけるフロケの解を不規則周期構造系に拡張したものであり、解析の基礎となる新しい概念である。第3章では、TM平面波の散乱と回折を取扱へ Wood の異常回折とインコヒーレントな wood の異常散乱、後方強調散乱、回折後方強調散乱などの異常散乱特性を統一的な立場から解析することに成功している。とくに、回折後方強調散乱の存在は、申請者が初めて指摘したものである。

第4章では、2値定常確率系列の直交汎関数に関する理論を検討し、多変数直交多項式と漸化式、母関数などの新しい公式を導いている。これらの公式を用いて、第5章では2値の周期的不規則表面による散乱問題を始めて取り上げ、定式化している。すなわち、散乱波を2値確率系列の直交汎関数展開を用いて表現し、近似的に求めた核関数を用いて、TE波の散乱特性を計算している。

第6章では、ランダムな誘電率をもつ薄膜による散乱を検討している。従来、後方強調散乱はランダム媒質による2回散乱によって生じるとされてきたが、申請者は単一散乱と多重反射の組み合わせというメカニズムでも後方強調散乱が発生することを発見している。

本論文の主要な内容は、以下の5編の論文として公表されており、そのうち3編は申請者が筆頭著者である。

1. Lan Gao and Junichi Nakayama, Scattering of a plane wave from a thin film with volume disorder, IEICE Trans. Electron., E-79, pp. 1327-1333, (1996)
2. Junichi Nakayama, Lan Gao and Yasuhiko Tamura, Scattering of a plane wave from a periodic random surface: a probabilistic approach, Waves in Random Media, pp. 65-78, (1997).
3. Junichi Nakayama and Lan Gao, Formulas on orthogonal functionals of stochastic binary sequence, IEICE Trans. Fundamentals, E80-A, pp. 782-785, (1997).
4. Lan Gao and Junichi Nakayama, Diffraction and scattering of a plane wave from randomly deformed periodic surface, IEICE Trans. Electron., E56-C, pp. 1374-1380, (1997).
5. Lan Gao and Junichi Nakayama, New formulas on orthogonal functionals of stochastic binary sequence with unequal probability IEICE Trans. Fundamentals. E81-A, pp.347-350, (1998).

以上のことから、申請者の論文は、新規制・独創性があり、学術的価値が高いと判断した。