研究報告 球状粒子を含む構造体のテラヘルツ帯における透過特性

本研究では、テラヘルツ波の伝搬経路に存在する粒子が透過特性に及ぼす影響を明らかにするため、テラヘルツ帯の波長に相当する 球形粒子を含んだ構造体を種々作成し、粒子径及び粒子素材をパラメータに透過特性との関係を検討しました。その結果、伝播経路に 粒子が存在することでMie散乱に起因する透過損失のピークが生じることが分かり、粒子径と屈折率が透過損失の損失ピークの発現波 長及びピーク高さに対する主要な影響因子であることを明らかにしました。本稿では、得られた結果の一部についてご紹介します。

はじめに

2030年以降とされる次世代情報通信規格の到来に向けて 70~300GHz近傍のサブテラヘルツ帯に着目した技術開発が 世界的に加速しつつあるなか、将来的な普及を見据えて良好な 通信環境を実現するために低反射・高吸収といった特性を持つ 材料や構造の開発に関する取り組みが進められています。しか しながら、この帯域での材料及び構造の開発プロセスにおい て、リファレンスとなり得るデータベースが未だ十分に整備され た状況では無いうえに、サブテラヘルツ帯の波長が数十~数百 um程度であることから、これと同等のスケールを持つ被入射 物の表面の凹凸や内部のフィラー粒子といった形状的な要素 が総体としての透過性などのマクロな特性に及ぼす影響も整 理されておらず、特性理解及び評価の妨げとなっています。

このことから、本研究ではテラヘルツ波の伝搬経路に存在する粒子が全体としての透過特性に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、0.1~4THzの帯域を対象に、その波長に相当する球形粒子を含む単層の構造体を種々作成し、粒子径及び粒子素材をパラメータとして透過特性との関係を検討しました。

透過特性の測定

透過特定の測定は、テラヘルツ非破壊検査装置(㈱アドバン テスト製TAS7500TS)のイメージングユニット(測定周波数 0.1~4THz)を使用しました。測定条件は、スキャンピッチをX 軸Y軸方向ともに1.5mmとし、周波数分解能は3.8GHz、積算 数を64回としました。透過特性は、試料中央部の74か所の透 過パワースペクトルを平均したものを、バックグラウンドのパ ワースペクトルで除することで透過率を算出しました。測定した 試料については表1に示すとおりです。

表1 使用材料と試料の諸元

粒子	素材	メーカー	サンプル名	公称径 (μm)
	ソーダ石灰ガラス	與不二製作所	#30	605
			#60	303
			#80	215
			#120	138
			#180	98
基材	セロハン	3 M	Substrate	-

結果 -粒子径が透過特性に及ぼす影響-

ガラス粒子を用いた試料の透過率を図1に示します。まず、 Substrateについては全波長域に亘り平坦な透過特性である のに対して、径に関わらず粒子を含む試料では入射光を約 1/100~1/1000程度にまで減弱する局所的な損失のピーク を示すことが分かります。また、径の相違に着目すると、粒子径 が大きい場合には高波長域でブロードな形状の損失ピークを 示しますが、粒子径が小さくなることに従って損失ピークの発 現する位置は低波長側にシフトしつつピークの形状も急峻なも のとなっていくことが分かります。

次に、粒子径と損失ピークの生じた波長との関係を検討する ため、各々の粒子の円周長を損失ピークが最大となった点の波 長で除することで得られる粒径パラメータαを整理した結果を 表2に示します。表より、αの値はいずれの粒子径でも概ね一定 の値となり、このことは透過率に生じた損失ピークが粒子径を



問わずに共通のメカニズムによって生じたことを示唆している ものと考えられます。

ここで、可視光をはじめとする電磁波が粒子に入射した場合 には散乱現象が生じ、閾値には若干の相違があるものの、粒径 パラメータの違いによってRayleigh散乱(α≪1)、Mie散乱(1≦ α)などの異なる散乱様態を示すことが知られています。テラへ ルツ帯において材料中に波長に相当する粒子や気泡構造が含 まれる場合にMie散乱が透過特性に影響したことを報告した例 もあり、本研究の試料系についても粒径パラメータの値を踏ま えると、透過特性に見られた損失ピークの発現にMie散乱が寄 与していることが窺われます。



図1 種々のガラス粒子を含む試料の透過特性

表2 公称径及びピーク波長から求めた粒径パラメータ

粒子	公称径(<i>μ</i> m) d	ピーク波長(μm) λ	粒径パラメータα Πd/λ
ab0	605 200	1030	1.84
#50	30?	515	1.75
	21.5	396	1.85
11120	135	218	1.99
111.60	38	161	1.91

そこで、粒子径の異なるガラス粒子を用いた試料を模して、 屈折率を一定として粒子径を変化させた場合のMie散乱の散 乱効率を計算し、透過率と散乱効率におけるピーク波長を粒子 径を横軸として整理したものを図2に示します。図のとおり、両 者のピーク発生波長と粒子径に見られる傾向は非常に良く対 応することが分かり、このことは、透過特性に見られた損失ピー クの原因として散乱効率が寄与することを裏付けるものと考え られます。すなわち、散乱効率の低い波長では入射波のエネル ギーがほぼ散逸することなく粒子を通過したために高い透過 率を示し、散乱効率が高い波長では粒子を通過する過程で散 乱によりエネルギーが散逸したことで透過率が低くなったもの と説明することができます。

以上のように、光と電波の隙間領域と言われるテラヘルツ帯 においても粒子と入射波の波長にはMie散乱による関係が成 り立ち、本研究のガラス粒子の試料系の透過特性に見られた特 徴的な損失ピークがMie散乱における散乱効率の粒子径への 依存性に起因して生じたことが分かりました。



本研究の結果から、テラヘルツ波の波長に相当する粒子が 伝搬経路上にあるときMie散乱に起因する透過損失のピーク が生じ、粒子径が小さくなることでピークの発生波長が低波長 化することが分かりました。

このことは、テラヘルツ帯において粒子状物質を含むサンプ ルを測定する場合、内在する粒子がスペクトルに影響を及ぼし 得ることを示唆しており、取得したスペクトルを検討する際には 散乱による影響についても配慮する必要があると言えます。 (参考文献谷略)

●お問い合わせ先/ 京都府中小企業技術センター 基盤技術課 材料評価係 TEL:075-315-8633 E-mail:kiban@kptc.jp



機能評価