

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載  
【部門区分】第6部門第1区分  
【発行日】平成16年10月28日(2004.10.28)

【公表番号】特表2001-500247(P2001-500247A)  
【公表日】平成13年1月9日(2001.1.9)  
【出願番号】特願平9-534152  
【国際特許分類第7版】

G 0 1 N 15/14

G 0 1 W 1/00

【F I】

G 0 1 N 15/14 P

G 0 1 W 1/00 E

【手続補正書】  
【提出日】平成15年10月28日(2003.10.28)  
【手続補正1】  
【補正対象書類名】明細書  
【補正対象項目名】補正の内容のとおり  
【補正方法】変更  
【補正の内容】

# 手続補正書

平成15年10月28日

特許庁長官 殿



1. 事件の表示 平成9年特許願第534152号

2. 補正をする者

名称 イギリス国

3. 代理人 東京都新宿区新宿1丁目1番11号 友泉新宿御苑ビル  
(郵便番号 160-0022) 電話(03)3354-8623  
(6200) 弁理士 川口 義雄



4. 補正命令の日付 自 発

5. 補正により増加する請求項の数 なし

6. 補正対象書類名 明細書及び請求の範囲

7. 補正対象項目名 明細書及び請求の範囲

8. 補正の内容

- (1) 明細書を別紙1の通り補正する。
- (2) 請求の範囲を別紙2の通り補正する。



方 式 審 査



## 別紙 /

## 明 細 書

流体媒体中に浮遊した粒子を実時間で特徴付けする方法  
および装置

## 発明の分野

本発明は、流体中の粒子形状を分類する装置および方法に関する。本発明は、大気中の粒子形状の実時間分類に特に適用することができるが、これに限定されるわけではない。

## 発明の背景

地球の微粒子大気の組成および力学の研究では、粒子形状は、それによって粒子の分類および場合によっては識別をしばしば達成することができる重要なパラメータである。球状液滴、海洋エアロゾルに典型的な立方結晶、および氷晶がとる様々な形態は、形状の決定とサイズスペクトル測定とを組み合わせ使用し、雲およびエアロゾルの巨視的および微視的な物理的挙動の理論モデルをそれに基づいて開発および試験することができる実験データを提供する例である。この特定の例としては、氷の微視的物理学ならびに雲中で同時に起こる可能性がある液滴および氷晶の挙動の研究がある。こうした混合相雲の放射特性は、根本的に二つの相の相対比率およびサイズスペクトル、ならびに存在する氷晶の配向に依存し、これは下層大気および地表面に到達する入射日光の比率に大きな影響を与える。氷および混合相雲の放射伝達特性を理解することができるためには、粒子の形状およびサイズの詳細な知識とともに、氷および過冷却液体水粒子の濃度数の測定値が必要である。さらに、氷晶の核生成および気候の変化におけるそれらの役割の理論の試験を容易にするために、氷晶の総数の測定値が重要である。

## 既存の大気粒子測定技術

大気粒子のサイズスペクトルを測定するように設計されたいくつかの市販の航空機搭載用計器があるが、機上プラットフォーム中で最も広

く使用されているのは、おそらく Particle Measurement Systems Inc.、Boulder Co. の FSS P-Forward Scatter Spectrometer Probe であろう。これらの計器は粒子形状に関する情報を提供することはできない。これらは一般に、すべての粒子が球形であるものと想定して較正されており、したがって例えば光散乱サイズの等しい氷晶と水滴とを判別することができない。

粒子形状測定に関して、Particle Measurement Systems Inc. の 2D-OAP-2D-Optical Array Probe は、一般にサイズが  $\sim 30 \mu\text{m}$  を超える空中粒子を検査するために利用される。この計器は、個々の粒子が光シートを通過し、粒子軌道に対して直角に配列された直線検出器アレイ内のエレメントを遮ったときにそれらのシルエットを記録する。ただし、2D-OAP には主として次のいくつかの制限がある。

(i) 測定大気内の粒子サイズの範囲または分布の、限られた瞬間的な情報しか提供しない（通常は、形状スペクトルを評価するために研究所で後処理が行われる）。

(ii) プロブアームの先端からの液体水滴の収集およびその後の放出や、小滴の高い分布を人工的に生み出すこれらのアーム上での大滴の「スプラッシング」などの事象により、いくつかのアーテファクトが記録データ中に生じる。そして最も重要なこととして、

(iii) 約  $125 \mu\text{m}$  以下の粒子サイズに相当する五個程度未満のアレイのピクセルを遮る粒子の形状を正確に分析することができない [Moss S. J. and Johnson D. W. Atmospheric Research 34 pp. 1-25, 1994]。より小さい粒子の形状を分析および分類することができないので、この計器はこれらのサイズについては水滴を氷晶と区別することができない。したがって、この計器は、例えば水の粒子および水滴のサイズがしばしば 2D-OAP の分解能の限度よりかなり低くなる巻雲の放射伝達特性

に関する微視的物理学の疑問に答えることができるデータを提供することができない。

理論上は $\sim 2 - 4 \mu\text{m}$ までとなるが実際には航空機の振動のために $\sim 10 \mu\text{m}$ までとなる、より小さな粒子の形状は、ホログラフィ技術を使用して評価することができる [Brown, P. R. A. j. Atmos. Oceanic Technol., vol. 6, pp. 293 - 306, 1989]。この技術では、パルス式Nd:YAGレーザおよび写真フィルム記録システムを使用して、測定空間内の粒子母集団のホログラフィ「スナップショット」を得る。処理されたホログラムをその後CWレーザを使用して調査し、詳細な分析を可能にする粒子の画像を再生する。この処理は非常に時間がかかり、また手作業も多く、各ホログラムごとに最長で一日かかり、この場合にも該当するより小さい粒子はこの計器の分解能の限度を超える。

#### 空間的光散乱技術

本出願人等は、個々の粒子が入射レーザ照明を空間的に散乱させる方法を分析することによって空中粒子を分類および識別するいくつかの地上計器を開発した。これらは、本出願人に知られている最も近い従来技術を表す「Portable Particle Analyser」、Ludlow, I. K. and Kaye P. H. ヨーロッパ特許第EP0316172号、1992年7月;「Particle Asymmetry Analyser」、Ludlow, I. K. and Kaye P. H. ヨーロッパ特許第EP0316171号、1992年9月に記載されている。これらの計器では、空中粒子は、吸引ポンプによって周囲大気から引き込まれ、通常は直径1ミリの狭い送出チューブに閉じ込められ、周囲を取り囲むる過されたシース空気の層と共に、レーザ散乱チャンバ内で入射レーザビームを通過させる。この粒子流とビームの交差点は、このサンプル流中の全ての粒子が通過する測定空間を規定する。粒子流は、この測定空間内での粒子の同時発生が統計的にまれであるようになっている。測定空間を通過する各粒子は、特に

粒子のサイズ、形状、および構造によって支配される形で光を散乱する。第1図は、個々の微視的な空中粒子から記録された典型的な光散乱パターンを示す図である。各パターンの中央にある黒い円はビーム絞りによって生じ、これらのパターンの外側の円周は入射ビームの方向に対する約 $35^\circ$ の角度での散乱に対応する。第1図から分かるように、液滴など球状粒子は規則的な同心リングの散乱パターンを生じ、繊維や長い結晶など細長い粒子は粒子の配向に従って角度の付いた直線的な散乱を生じる。不規則な形状の粒子は、容易に識別できる特徴がほとんどない、さらに複雑なパターンを生じる可能性がある。前述の従来技術に記載の計器では、レーザビームの軸について対称的に配列された三つの検出器によって、第1図に示す散乱パターンを収集する。三つの検出器から受信された信号の大きさの差を測定することにより、散乱粒子の形状の大まかな推定を得ることができる。

ただし、上記に記載のタイプの計器は、下記の理由から水晶や過冷却水滴などの大気粒子の測定には適していない。すなわち、大気粒子の測定では、粒子の相（すなわち氷または水）または配向（放射挙動を支配する）のいずれも測定プロセスの影響を受けないことが不可欠となる。このことから、狭いチューブを介して大気から測定チャンバ中に粒子を引き込むポンプ式サンプル送出システムは使用することができない。このようなポンプ式システムでは、間違いなく粒子の配向を変化させることになり、サンプル中に存在するより小さな水晶を融解させる、または部分的に融解させる可能性が高い。

前述の考察に鑑みて、本発明の目的は、迅速かつ非侵害的に、すなわち検査する粒子に著しい影響を及ぼさないように、流体中粒子のサイズ、形状、および配向を決定する手段を提供することである。したがって、本発明は、上記欠点のいくつかまたは全てを克服または緩和する、このような粒子の形状を分類および特徴付けする改善された装置および方法を提供する。

発明の概要

本発明の第一の態様によれば、流体媒体中の粒子の形状を特徴付けするために使用される粒子分析器であって、

(i) 散乱チャンバを通る流れの形状をした流体のサンプルを提供する手段と、

(ii) 第一波長を有する放射線の第一ビームを発生する手段と、

(iii) 第一および第二波長が異なり、前記第一および第二の放射線のビームが互いに交差していわゆる仮想測定空間を生み出すようになされた、第二波長を有する放射線の第二ビームを発生する手段と、

(iv) 放射線の第一ビームを通過する粒子によって散乱された放射線を検出するようになされた第一検出手段と、

(v) 放射線の第二ビームを通過する粒子によって散乱された放射線を検出するようになされた第二検出手段と、

(vi) 各検出手段によって検出された放射線からデータを得る手段と、

(vii) 前記の得られたデータと、知られている形状の粒子から得られたデータとを比較する手段とを含む粒子分析器が提供される。

放射線、好ましくはレーザー光の交差する二本のビームを提供することにより、「仮想」測定空間が生み出され、狭い送出管を使用する必要がなくなる。これは、大口径のパイプ中を流れる流体を、流れを乱さずにその粒子内容をサンプリングできるという利点がある。

好ましくは、放射線の第一ビームはほぼ細い楕円形の断面を有する。これは、粒子が通過する比較的薄い光のシートをもたらす。

好ましくは、放射線の第二ビームはほぼ円形の断面を有し、放射線の第二ビームの直径は第一ビームの最大幅の寸法より小さい。

特定の好ましい実施形態では、第一および第二ビームはほぼ $60^\circ$ の角度で交差する。

第一検出手段は、複数の個別の光検出器を含むことが好ましい。幅広い様々な異なるアレイを使用して、粒子の形状に関する情報を得ること

ができる。

好ましくは、放射線からデータを得る手段は、仮想測定空間を通過する粒子を識別するようになされ、さらに、第一検出手段からのデータ、特に仮想測定空間を通過した粒子から得られたデータを集めて処理するようになされる。このことには、仮想測定空間を通過した粒子のみが両ビームから同時に散乱を生じることになるという利点がある。これらの粒子のみから得られた散乱パターンを収集し、処理することができる。

好ましくは、第一および第二検出手段は、レンズ系と、光検出器と、それぞれ放射線の第一または第二のビームからの光のみをそれぞれの光検出器に到達させることができる第一または第二の光波長フィルタとを含む。これにより、散乱した光をその光源によって区別することができる。

好ましくは、その／各検出器の前面に開口が設けられ、その／各検出器の視野がほぼ仮想測定空間に制限され、スプリアス散乱信号を除去する、または大幅に減少させることができるようになっている。

本発明の第二の態様によれば、

- (a) 流体のサンプルを散乱チャンバを通過させる段階と、
  - (b) 第一波長を有する放射線の第一ビームおよび第二波長を有する放射線の第二ビームを、これら二つのビームが交差して仮想測定空間を形成するようにチャンバを通過させる段階と、
  - (c) 仮想測定空間を通過した粒子を識別する段階と、
  - (d) 前記粒子によって散乱された第一波長を有する放射線を第一検出手段で検出および収集する段階と、
  - (e) 収集した放射線を電気信号に変換する段階と、
  - (f) 電気信号を処理および分析し、これらを知られている形状の粒子から得られたデータからの信号と比較する段階と
- を含む粒子分析の方法が提供される。

この方法は、したがって求められる保護は、本明細書に記載の任意バージョンの装置の使用に拡張される。



## 図面の簡単な説明

添付の図面に関連して、例示として本発明についてさらに説明する。

第1図は、様々な幾何形状の個々の粒子からの典型的な光散乱パターンを示す図である。

第2図は、本発明の第一の態様による粒子分析器を示す概略図である。

第3図は、第2図に示す粒子分析器の測定空間を通過する、これに隣接する粒子から生成される、光散乱強度信号を示す概略図である。

第4図は、異なる形状の粒子についての、六つの検出器アレイからの出力の例を示す図である。

第5図は、検出器モジュールの光散乱データの処理の代表的なシーケンスを示す図である。

第6図は、航空機への搭載に適した粒子検出器の一つの可能な構成を示す図である。

## 好ましい実施形態の説明

次に、例示のみを目的として、本発明の実施形態について説明する。これらの例は、本出願人に現在知られている本発明を実施する最良の方法を示すものであるが、これを達成することができる唯一の方法ではない。

本発明は、第2図に示すように、機械的な障害がなく、また浮遊して搬送される粒子が自由に通過することができる仮想測定空間を生み出すことに基づいている。測定空間1は、波長の異なる二つのレーザビームの交差によって、好ましくは散乱チャンパ内に生み出される。第2図に示すように、一方のビームは一次ビーム2と呼ばれ、もう一方のビームは二次ビーム3と呼ばれる。一次ビーム2は、通常は細い楕円形の断面を有し、粒子が通過する光の薄いシートを与えるようになっている。二次ビーム3は、通常は円形の断面であり、一次ビームの幅の広い方の寸法より小さな直径を有する。二つのビームの交差角度は通常は $60^\circ$ であり、測定空間1がほぼ円形の形状を有し、その面が粒子運動の方向に対して直行するようになっている。

これらの断面は好ましいが、これらは間違いなく使用することができる唯一の断面ではない。同時に仮想測定空間を発生する、波長の異なる放射線の任意の二つのビームで十分である。二つのビームが入射する角度は重要ではないが、 $60^\circ$  で良好に動作することが分かっている。

この文脈では、散乱チャンバという用語は非常に幅広い意味を有する。これは流体が流入する規定された構造を指すことができる。あるいは、これは単純に、流体が流れている、または流れることができるパイプ、チューブ、またはダクト内の領域を指すこともできる。したがって、これは、別個の規定された構造である必要はない。

第2図で4～11の番号が付いた通常八個の一連の光検出モジュールが、浮遊粒子の摂動を避けるために十分に間隔を空けて、測定空間を取り囲んでいる。以下で説明するように、検出モジュール4および5を使用して、粒子が「有効軌道」を有するかどうか、すなわち測定空間1を通過するかどうかを確認する。次いで検出モジュール6～11を使用して、粒子の形状および配向を評価する。各検出モジュールは、レンズ系12、光波長フィルタ13、光検出器14を含む。(分かりやすくするために、これらの部材は一つの検出モジュールについてしか示していない。)各検出モジュールのレンズ系は、光検出器の視野が測定空間1を含むのにちょうど十分となるように配列される。これは、光検出器の前面にある開口15を適当に位置決めすることによって達成することができる。粒子16は測定空間を取り囲む大きな体積中を自由に進行する。これは本発明による粒子分析器の重要な特徴である。検出モジュールに対する粒子の運動は、例えばこの検出アセンブリを搭載する航空機が、対象の雲またはエアロゾル中を移動することによって達成することができる。あるいは、粒子の運動は、光検出モジュールの周囲に配列された大直径のパイプまたはダクト中を移動するガス内に粒子を浮遊させることによって引き起こすこともできる。

粒子は、通常はそれらの露出長さに沿った任意の点でレーザービームを通過することができ、その直後に全ての方向に光を散乱する。ただし、

二つのビームの交差によって規定された測定空間 1 を通過した粒子のみが、両ビームからの同時散乱を生じることになる。このことを、任意の単一の光検出器からの電気パルスのタイミングを示す第 3 図に示す。このトレースは、測定空間に接近した、それぞれに測定空間を通過する軌道を有する二つの粒子 16 および 17 から得られた信号を示す。粒子 16 については、生じた散乱後の光パルスは、第 3 図のタイミング図に示す時間に分離されている。粒子 17 については、そのパルスが、一次ビーム 2 から得られたパルスが、二次ビーム 3 から得られたパルスの持続時間内に常に完全に含まれるようになっている。したがって、これは、測定空間全体にわたる粒子軌道についての「有効軌道」条件である。

再度第 2 図を参照すると、検出モジュール 5 に設けられた光フィルタ 13 は、二次ビームからの光のみをその光検出器まで通過させるようになっている。その他全ての検出モジュール中の光フィルタ 13 は、一次ビームからの光のみをそれらそれぞれの光検出器まで通過させるようになっている。粒子は、測定空間 1 を通過するとき、両ビームから同時に、全ての方向に光を散乱する。全ての検出モジュールからその結果生じる信号の大きさは、従来の電子回路（図示せず）を使用して直ちに記録される。検出モジュール 4 は、ビーム絞り 18、またはビームダンプによって一次ビームによる直接照射から保護されることに留意されたい。検出モジュール 4 は、一次ビームを通過する粒子からの散乱によって生じた電気信号を生成する。検出モジュール 5 は、二次ビームを通過する粒子からの散乱によって生じた電気信号を生成する。さらに、電子回路は、「有効軌道」条件に当てはまること、すなわち粒子が測定空間を実際に通過したことを確認する。このことが確認された後で、全ての検出モジュールからの信号の大きさを、粒子の形状および配向の評価を行うことができる電子処理回路に転送する。

第 4 図は、様々な形状の粒子、すなわち球状液滴、柱状粒子、およびフレーク状粒子からの散乱信号の導出を示す図である。第 4 図の上部部分は、これら三つのタイプの粒子からの典型的な散乱光パターンの上に

重ねられた六角形配列の検出モジュール6～11によって覆われる領域を示す図である。これらの各例の下のグラフは、検出器モジュールから期待される出力を示すグラフであり、どのようにして球状液滴が六つ全ての検出器モジュールについて等しい出力を生じ、柱状粒子が一般に二つの高い出力および四つの低い出力を生じ、フレークが単一の優勢な出力を生じるかを示す。

検出器モジュールからのデータの処理の性質を第5図に示す。検出器4および検出器6～11からの散乱光の強度信号の大きさは、パターン分類プロセッサに供給される。このプロセッサは、データの特定のパターンを認識し、対応する粒子を適当なクラスに割り当てるように設計される。最も単純なクラスは、検出器6～11からの信号が計器測定確度内で等しくなる球状粒子のクラスである。細長い結晶などその他の粒子は、通常は出力6～11で高い値を二つ生成し、残りは低くなる。どの場合にも、検出器4からの信号の大きさは粒子サイズの測度として使用され、これより大きな粒子は比較的高い値を生成する。パターン分類プロセッサの出力は、図示のように、球状粒子を粒子の一つのクラスとし、その他の粒子の形状（柱状や繊維状など）を別のクラスとする、一連のサイズ分布の形態にすることができる。粒子形状のクラスは、必要なだけ存在することができる。

本発明は、交差するレーザビームが規定する測定空間の平面に対して直角な方向に流体媒体が流れる気体または液体の流体媒体中を搬送される、通常は $0.3\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ の範囲のサイズの粒子の測定および特徴づけに適用することができる。流体は、多くの工業プラント状況や水処理作業などで見られるように、パイプまたはチューブに沿って進行する。このような場合には、本発明の光学要素は、チューブ壁面中に適当に配置された窓を介した流体への光学的アクセスを有するパイプまたはチューブの外側にある。

ただし、航空機搭載型の大気粒子用検出器として使用する本発明の特定の実施形態を、第6図に概略的に示す。検出器モジュール4、5、6、

7、および8は剛性取付けアセンブリ19中で支持されていることが分かる。航空機の移動は矢印で示すように左から右に向かい、粒子を含む空気（基本的に地球に対して静止したままである）が取入れ口20を通過して通気口21を通過して外に出るようになっている。取入れ口の内径は通常は30mmであり、これは、計器の測定空間を順次通過することになる取入れ口の軸付近の粒子が、それらの測定が行われた後までそれらの計器の存在による影響を受けないことを保証するのに十分である。側板22が、外部環境から光学アセンブリを保護している。バルクヘッド23の後ろには、データ獲得エレクトロニクス、パターン分類プロセッサ、および必要な電源とともに、二つのレーザ24が取り付けられる。パターン分類プロセッサの好ましい実施形態は、Radial Basis Functionニューラルネットワークである。Radial Basis Functionは、ほぼ間違いなく最も単純な形態の人工ニューラルネットワークの一つであり、パターン分類のテキストに十分に文書化されており、従来技術であると考えることができる。この計器からのデータは、航空機の翼を通して担持される通信データ回線を介して機内コンピュータに供給され、これにより航空機がその中を飛行している粒子雲の性質に関するデータがほぼ瞬時に航空機の乗務員に提供される。

## 別紙2

## 請求の範囲

1. 第一波長を有する放射線の第一ビームを生成する手段と、第二波長を有する放射線の第二ビームを発生する手段であって、第一および第二波長が異なり、前記第一および第二の放射線のビームが互いに交差して仮想測定空間を生み出すようになされた手段と、第二放射線ビームを通過する粒子によって散乱された放射線を検出し、検出した放射線に応答する第二信号を発生するように構成および配列された第二検出手段と、特定の粒子からの第一および第二放射線信号を、知られている形状の粒子からのデータと比較する手段とを含む、流体媒体中の粒子の形状を特徴付けするために使用される粒子分析器であって、

(i) 前記流体中の粒子が機械的な妨害を受けずに前記仮想測定空間を通過するように流体流内に配置されるように配列された前記仮想測定空間、

(i i) 第一放射線ビームを通過する粒子によって散乱された放射線を検出し、検出した放射線に応答する第一信号を発生するように構成および配列された第一検出アレイ(6~11)、ならびに

(i i i) 第一および第二放射線信号が仮想測定空間内で特定の粒子を識別したことを決定する手段

を特徴とする粒子分析器。

2. 第一の放射線ビームがほぼ細い楕円形の断面を有する、請求の範囲第1項に記載の粒子分析器。

3. 第二の放射線ビームがほぼ円形の断面を有する、請求の範囲第1項または第2項に記載の粒子分析器。

4. 第二の放射線ビームの直径が第一の放射線ビームの最大幅より小さい、請求の範囲第3項に記載の粒子分析器。

5. 第一および第二ビームがほぼ60°の角度で交差する、請求の範囲第1項から第4項のいずれか一項に記載の粒子分析器。

6. 第一および第二検出器手段が、レンズアレイと、光検出器と、それぞれ第一または第二の放射線ビームからの光のみをそれぞれの光検出器に到達させることができる第一または第二の光波長フィルタとを含む、請求の範囲第1項から第5

項のいずれか一項に記載の粒子分析器。

7. その視野をほぼ仮想測定空間に制限するようになされた、検出器の前面に開口を規定する手段を有する、請求の範囲第6項に記載の粒子分析器。

8. 粒子サイズを決定するようになされた、請求の範囲第1項から第7項のいずれか一項に記載の粒子分析器。

9. 氷晶と過冷却水滴とを区別するようになされた、請求の範囲第1項から第8項のいずれか一項に記載の粒子分析器。

10. 航空機上に配備するようになされた、請求の範囲第1項から第9項のいずれか一項に記載の粒子分析器。

11. 航空機付近の粒子の性質の指示を瞬時に乗務員に提供するように構成および配列された、請求の範囲第10項に記載の粒子分析器。

12. (i) 二つのビームが交差して仮想測定空間を形成するように、第一波長を有する放射線の第一ビームおよび第二波長を有する放射線の第二ビームを方向付けする(二つの波長は異なる)段階と、

(ii) 前記粒子によって散乱された前記第二波長の放射線を第二検出手段で検出し、それに対応する電気信号を生成する段階と、

(iii) 前記信号を処理、分析、および比較して、前記粒子に関する形状およびサイズのデータを得る段階とを含む方法であって、

(a) 前記仮想測定空間に進入する前記流体流中の粒子が前記方法による影響を受けないように、前記仮想測定空間を通る流体の流れを方向付けする段階と、

(b) 前記粒子によって散乱された前記第一波長の放射線を第一検出アレイで検出し、それに対応する電気信号を生成する段階と

を特徴とする粒子分析の方法。

13. 水滴と氷晶とを区別するようになされた、請求の範囲第12項に記載の方法。