海外報告

ベルゲン粉体計測シンポジウムおよびイギリスの大学

増 田 弘 昭*

Hiroaki Masuda

CHR. Michelsen 研究所 (ベルゲン学会会場)

はじめに

西ドイツ留学中に、ノールウェーのベルゲンで粉体計測に関する国際学会が開かれ参加しました。続けてイギリスに渡り、ブラッドフォード大学およびラフボロ工科大学を訪問しました。ベルゲンでの学会には井伊谷先生と連名の発表があり、あまり気楽ではありませんでした。前もって頂いた発表題目の一覧には仲々興味深いものがありました。

ベルゲンはフィヨルド探勝の入口として知られ、海と山と赤い屋根の家の見えるきれいな港町です。しかし一

年の内、8ヶ月は雨で、残り4ヶ月は雪だそうで、学会中も天気はすぐれませんでした。その上、発表内容は全般に題目ほどではなかったという気がして、多少がっかりしたのですが、これは計測対象の広さおよび複雑さと原理の多様性によるものであったと思います。

以下にその概略とイギリスの二つの大学を紹介します。

1. ベルゲン粉体計測学会

IN-STREAM MEASUREMENTS OF
PARTICULATE SOLID PROPERTIES
BERGEN/NORWAY

8月22, 23日 1978

表 1 参加者数 (ベルゲン学会)

ノールウェー	55人
イギリス	23
西ドイツ	9
デンマーク	6
オランダ	5
スウェーデン	5
アメリカ合衆国	5
フランス	4
オーストラリア	2
カナダ	2
チェコスロバキア	2
東ドイツ	2
日本	2
イタリア	1
ベルギー	1

写真 1 ベルゲン

昭和54年3月12日受理

* 広島大学工学部化学工学教室 (〒730 広島市千田町3-8-2)
TEL 0822-41-1161

合計124名、その内大学・公的研究所から52名(42%)

表 2 計測対象および方法 (ベルゲン学会)

対象 (件数)	計測方法
粒 度 (10)	レーザー光回折, X線散乱, 空気透過, コールター・カウンター, 自己相関 (乱れのスケール), 音響 (粒子どうし), 沈降, intersection, PAS*, PTS* (エネルギー吸収)
粉体流量 (7)	力検出 (傾斜板, シュート, ピエゾ), 2相流圧損, 静電気, 音響 (2相流雑音)
粉体濃度 (7)	放射線吸収, 静電容量, 超音波吸収
粒子速度 (5)	相互相関 (静電容量, レーザー), トレーサー (放射性), 超音波ドップラー (粉体層表面速度)
組 成 (3)	蛍光X線, 光反射 (紫外, 赤外), PAS*, PTS* (エネルギー吸収)
水 分 (2)	中性子反射, PAS*, PTS* (エネルギー吸収)

*PAS=Photoacoustic, PTS=Photothermal Spectroscopic Technique

(注) 1件の発表で幾つかの計測法を扱ったものもある (発表件数26, 特別講演2件)

この学会はヨーロッパ化学工学連盟の第202回行事として開催されたものです。参加人数は124名, その内大学等公的研究所からは52名の参加で全体の42%。逆にいえば約6割は一般企業からの参加です。地元の Chr. Michelsen Institute の Dr. Eckhoff が世話役で, ラフボロ大の Prof. Freshwater, チェコ科学アカデミーの Dr. Novosad, 西ドイツブラウンシュベーク大の Prof. Schwedes などを見かけましたが, ブラッドフォード大の Dr. Williams とクラウスタール大の Prof. Leschonski は欠席でした。

参加者を国別に見ますとノルウェーの55人, イギリスの23人をはじめとし, 実に15ヶ国にわたっています (表1)。日本からは三協電業の渡辺氏と私の2人でした。国際色豊かで, 世話役の Dr. Eckhoff も大いにはりきっておられたようですが, 内容的にはまず2つの特別講演の内1つはあまりにも実験室的すぎたように思いました。さらに発表者が内容を十分つかんでいないと思われるようなものも幾つかありました。しかし, 扱われた計測法は表2のように広い範囲にわたり, 全体としてはまずまずの出来といえるでしょう。扱われた計測対象を見ますと, 粒度あるいは粒度分布がもっとも多く, 次いで粉体流量, 粉体濃度となっています。しかし, 粉体濃度と粒子速度から粉体流量が出せるのですから, むしろ粉体流量の計測に関する発表がもっとも多かったと見ても良い

と思います。

原理的にはほぼ本会誌 (増田, 井伊谷; 粉体工学研究会誌, 14, 228 (1977)) あるいは (井伊谷, 増田; 粉体プロセスの自動化, 第2章, 日刊工業新聞社 (1975)) に紹介した範囲にあって, その意味ではあまり新鮮味がなかったともいえます。しかし, 次のような測定法の改良や測定範囲の拡張に関する報告もありました。

- ・ コールター・カウンター (粒度計測, サンプリング) 粗粒子 (mm級) の測定, 重力の影響をのぞく
- ・ 相関法による速度計測へのレーザー光の利用 相関法による固気2相流の速度測定には従来静電容量あるいは静電気を検出する方法が採られていた。レーザー光を用いることにより局所的速度を測定, レーザー・ドブラーより解析が単純
- ・ 圧損による粉体流量計測 (2相流) 2次空気の注入・高濃度輸送への適用範囲拡張のためと思われる
- ・ レーザー光回折 (粒度計測, サンプリング) 実用化されたものの応用 ($1\mu\text{m}\sim 176\mu\text{m D}_p$ あるいは $3.3\sim 300\mu\text{m D}_p$, Leeds and Northrup MICROTRAC, USA*) 適用範囲の検討 ($1\mu\text{m}\sim 1\text{mm D}_p$ 液中分散)
- ・ 沈降法による粒度計測 (サンプリング) 粗粒子への拡張, 抵抗則 (ストークス則外) の変化等をミニコンピューターで補正 ($50\mu\text{m}\sim 1\text{mm D}_p$), 濃度計測には γ 線を使用
- ・ 音響法による粒度計測 (サンプリング) Langer の方法の拡張, 粒子どうしの衝突音 ($50\mu\text{m}\sim$ 数 cm D_p)
- ・ 光の反射による成分分率の計測 紫外線による等色粒子の識別
- ・ 曲線形シュートの反作用力検出による粉体流量計測 傾斜板と粉体流の衝突による板面の異常まもうを避ける。

また湿式閉回路粉砕プロセス (パイロットプラント, Utah 大学) で, サンプリングによる粒度計測 (レーザー回折法) を行なった場合, サンプリング間隔がどの程度以下であれば満足な制御が行なえるかを検討しています。これによると, サンプリング間隔の増大とともに制御は当然悪くなりますが, 1分に1回程度のサンプリングで粒度計測ができればほとんど問題にはならないようです。しかしこの結果はシステムの大きさによってかわるでしょう。

表2中の PAS, PTS はレーザー光をサンプル粉体に

*日機装 (株) より市販

照射し、発生する熱（圧上昇に伴う音）を検出し、サンブルの状態を推定する方法として検討されていますが、具体的な適用範囲は未だわかっていません。

2日間の会合は、前日21日の市長による歓迎会、22日夜の大懇親会（12時迄）もあって、一部時間不足の感じのまま無事終えました。このような会合の難しい点は、計測法の原理が多様で、しかもある程度発展しているために聴衆が問題点あるいは原理をつかむまでに時間がかかるということでしょう。会場が立派で広すぎた感じもあり、討論は今一つ盛上らなかったのは残念ですがその一因は発表件数が多すぎたことにもあるようで、世界的にこの分野が興味を持たれはじめていることは頼しいことです。

2. ブラッドフォード大学

ベルゲンから船でイギリスのニューキャッスルに渡りました。丁度一昼夜の船旅です。固気2相流の粒子の帯電をモデル化した Leeds 大学グループの一人、Dr. Mobbs が偶然一緒でした。今はルーバー分級機などの研究をやっているとのことでしたが静かな人で、筆者らの研究を知って非常に喜んで下さいました。北海は静かでしたが、それでも船酔止めの薬は必要でした。

イギリスに着いて最初に見たドイツとのちがいは、駅の改札です。行列を作って待つのは久しぶりで、日本を思い出しました。ドイツでは駅構内への出入は自由ですから、この種の行列は見られません。その他、何かと不合理な点や無駄と思われることが目に着きましたが、円

写真2 ブラッドフォード（化学工学科）

写真3 二相流計測の実験装置
（ブラッドフォード、M.S. Beck）

高で物価は安く風景のちがいもあって満足しました。

ブラッドフォード大学は新しいキャンパスで丘の上にあります。Dr. Williams と話をした後、研究室の見学をしたのですが、丁度日本鋼管の鈴木氏が留学生としてホッパーの研究をしておられ、案内して頂きました。当研究室の研究テーマは次のようなものでした。

- ・ホッパー内の粉粒体の挙動

応力場、速度場の実験と理論解析、実験には2次元粒子（端まさを小さくしたシリンダーベアリング）を使用

- ・シュートの上の粉粒体の流れ

立体写真による速度場の解析

- ・流動層の研究

穀物の種に虫よけ用薬品をコーティングする

- ・せん断試験機・引張り試験機

- ・ホッパー内圧（流動状態での）

壁、底面における圧力分布、3次元の力測定用ロードセルを製作し使用、測定のため室温はコントロールされている（半導体ストレインゲージ）

- ・オン・ライン粒度測定

主流からサンプリングして来た2相流を簡単な分級機を通した後、静電気法により粗粒・微粒それぞれ（の濃度）を検出し、比を取る。

最後のオン・ライン粒度測定は Dr. Svarovsky が学生と一緒にやっているのですが、最初学生が説明してくれた時はさっぱり要点をつかんでいないようでした。どうも先生のいわれた通り、わからなくてもやっていると

いう感じです。この研究の各部の詳しい研究は未だやっていないとのことでしたが特許は申請したそうです。Dr. Svarovsky はチェコの人で、最近湿式ろ過関係の本を出しておられます。

研究室を案内して頂いている間に隣の機械の実験室の空気輸送装置を見る機会を得ました。静電容量検出の相關法を研究した Dr. Beck らの装置で、広い空間を使った立派なものでした。2 相流の流量測定ではサンプリングで全量を推定するのは大変ですから、直接全流量を求める研究をしようとすると実装置規模のものが必要です。しかし、これだけの大型装置が室内にあるのはうらやましい限りでした。(写真 3)

見学の後、鈴木さんに有名な嵐ヶ丘の舞台となったヒースを見せて頂きました。今年の夏はヨーロッパ全体に天気が悪く、冷たい風の吹く丘に立つと例の小説の暗い感じになるほどと思えます。

3. ラフボロ工科大学

ラフボロはブラッドフォードからさらに南下して、ロンドンに近くなります。化学工学科長は Prof. Freshwater ですが、ここの化学工学は粉体工学が主力のようです。粉体工学関係の情報処理のための特別の人員と計算機を持っており、Particulate Information π (200 程度の雑誌から粉体工学関係の論文題目を集めたもの) はこの発行です。主な研究者と研究内容は次の通りです。

Mr. Scarlett : ホッパー設計, ろ過, 水分輸送, 充てん層の特性, 熱伝導度, 電気伝導度測定

Mr. Lloyd : 静電粉体塗装, 粒度測定, 粉体物性

Dr. Stenhous : 集じん, エアロゾル工学 (熱泳動, 拡散), 集じん装置のスケール・アップ

Dr. Akers : フロキュレーション, レオロジー, 前処理技術

Mr. Ward : ろ過, 遠心分離, ハイドロサイクロン

写真 4 Dr. Stenhous とラフボロ工科大学の一部

写真 5 粒子反発の実験装置 (低速反発)

Mr. Treasure : 分級, 粒度測定

故 Heywood 教授の居られた所でもあり、月の砂の検討も続けられているようでした。この他、実験関係を主としたスタッフもおられます。

研究設備も整っていますが、教育設備の方もそれに劣りません。沈降実験や粉体物性の部屋は空調されており、電子顕微鏡には専任の方がおられます。

静電粉体塗装の研究では、ジグザグ型分級機を用いて試験粉体を作ることから始めて、粒子の飛行軌跡の検討をしていました。Dr. Stenhous はフィルターの性能を検討していますが、現在は再飛散・反発の研究が主で、反発については別に実験装置を作っていました。この装置では粒子速度の遅い所の実験ができるそうで、粒子速度 (自然落下) は低圧でのカンニンガムのスリップによって変化させます。ローチェスター大の Dr. Dahneke, カールスルーエ大の Dr. Hiller (実験装置ができ上がった所) も同様の研究を行っていますが、今の所もっとも単純な実験装置は Dr. Stenhous の作ったもののようです。(写真 5)

見学後 Dr. Stenhous に近くの森を案内して頂きました。駅は小さくて貧相ですが、町や自然はブラッドフォードよりきれいで、森の中には野性のシカも見られます。奥方を次ぎ次ぎ殺したという青ひげの城のある森で巨大なオークの木と暗い森が印象的でした。

おわりに

ベルゲンやイギリス、ドイツの気候を見ますと、日本はいかに天気めぐまれた国かわかります。そのようなきびしい気候の中で、人々は親切であり、ゆとりが感じられます。ラフボロ大の学生寮、レクリエーション施設は立派なもので、学内にバー (酒) まであります。ブラッドフォード大も同様でした。イギリスでは外国からの留学生の方が頑張っているのではないかなといった気が一瞬しました。しかし、実験設備はここでも格段に立派です。さて、そこで日本はどうか、研究者や研究態度は劣ると思えませんが、その他の点では正直いって多少心配になった次第です。