

食品工学雑感

日本食品工学会元会長 (2009–2012 年度), 岡山大学名誉教授

中西一弘

筆者が教育・研究者としての現役を退いてから5年の年月が過ぎた。不勉強のために最近の食品工学分野や学会の動向・情勢を正確には把握できておりませんので頓珍漢なことをつぶやくかもしれませんがお容赦をお願いします。さて、学会誌第22巻第1号に、年次大会中に開催された創立20周年記念シンポジウム「日本の食品工学：20年の歩みとこれから」の解説記事[1]が掲載されていたので拝読させて頂きました。筆者が特に興味を抱いたことは、多成分系で、しかも加工・保存中に複雑な挙動を示す食品を対象とする食品工学には未だ未だ多くの課題あること、また、その解決のためには近年目覚ましい発展を遂げている人工知能(AI)、物のインターネット (IoT)、計算機科学や先端測定機器類を活用することが肝要であることを言及されていた点です。このような科学技術の展開は、筆者が現役の時代においてもその予兆を感じていましたが、手に届くものになってきていることを改めて認識しました。会員諸氏の今後の活躍と食品工学分野の発展を楽しみにしております。解説記事を読ませて頂く中で、これまで気に掛かっていた事柄が頭をよぎりました。

その1 研究にパイロットプラントレベルの装置を使用することは必要か？

ヨーロッパの大学の工学的研究分野では、日常の実験において産業界で使用されている仕様に近いパイロットプラントあるいはよりスケールの大きい装置が用いられることは珍しくない。生命工学分野の研究においても、基礎研究の成果を実証するために工業的規模の装置が用いられるという。この理由としては、大

型の装置を使用することにより実際の現象を忠実に再現できるだけではなく、得られた成果がそのまま社会(産業界)に移転できるからであるという。若干、話が逸れるが、産業界との連携の重要性に関してはノーベル賞学者のMax Planck博士の功績が思い出される。19世紀後半のドイツでは重工業が盛んになり、特に製鉄業はあらゆる産業に良質な鉄を供給する重要な要であった。Planckは、産業界からの“溶鉱炉中の温度を推定できないか”という問題提起に取り組むことにより、最終的にエネルギーの量子仮説を見いだした[2]。Planckが産業界からの話に興味を示さなかったら量子力学の大系化が著しく遅れていた可能性もあったのではないだろうか。

さて、筆者は約40年前(1982~1984)にミュンヘン工科大学(TUM)のH. G. Kessler教授の研究室(Chair of Food Process Engineering and Dairy Technology)で約1年間研究生活を送った。Kessler教授の研究室(講座)はTUMのFreising-Weihenstephanキャンパスにあった(図1)[3,4]。教授から与えられた研究テーマは「スキムミルクの濃縮に使用した限外ろ過(UF)膜の水洗浄速度の解析」であった。使用した装置はチューブラー型のUF膜モジュール、ステンレス管、バルブ類、ポンプ、タンク類、プレート型熱交換器、制御装置、計測装置などから構成され、すべて産業界で使用される仕様のものであった(図2)。試料のスキムミルクは隣接する当時は国立の乳製品工場で当日製造されているものを使用した。なお、牛乳を脱脂して得られるスキムミルクを用いた場合とスキムミルク粉末を水に溶解した溶液を用いた場合では、実験結果が異なる可能性があるとのことであった。実験の主な手順は、1) 集乳缶を用いて約20Lのスキムミルクを乳製品工場から実験室へ搬入、2) UF膜濾過実験、3) 水洗浄実験、4) スキムミルクの回収と乳製品工場への返却、最後に、5) 装置全体のCIP洗浄と清掃であった。この一連の実験を筆者一人で実施することは到底できないが、常時テクニシャンが付いていたので連日問題なく実験を進めることができた。余談になるが、TUMでは週休2日制(日本の大学では1992年頃から)であり、金曜日も午後2時か3時頃までが勤務時間であったので滞在中に疲れが残ることはほとんど無かった。幸いにして、

中西一弘 (Kazuhiro NAKANISHI)

1968年 京都大学工学部化学工学科卒業

1972年 同大学院工学研究科博士課程化学工学専攻中途退学
同大学農学部食品工学科助手、1984年 助教授

1987年 岡山大学工学部生物応用工学科教授

2005年 岡山大学自然科学研究科機能分子化学専攻教授

2011年 同定年退職、中部大学応用生物学部環境生物科学科教授

2016年 中部大学定年退職

2009-2012年度 本学会会長



図1 当時のTUM Freising-Weihenstephan キャンパス

左手の大きな屋根の見える建物の左半分が Kessler 教授の研究室，右手の白い建物が乳製品工場である．研究室の後ろに見える赤い屋根の白い建物は学生食堂 (Mensa, メンザ)．緑の芝生の手前 (図にはない) には，世界最古のビール醸造所 (西暦 1040 年創業) がある．現在はキャンパス，建物，設備など全てが一新されている ([3,4])．



図2 使用した UF 膜濾過システム

本研究では膜面上に付着しているタンパク質の状態が濾過速度や水洗浄速度に大きな影響を及ぼすことを見出し，最終的に結果を論文として発表することができた．本研究に興味をもち，帰国後に続けることができないかと思ったこともあるが，具体的な検討に入るまでもなく装置の製作費用，設置場所，スキムミルクの入手方法，洗浄，排液など，どれ一つとっても難しいことは明かであった．それでも，汚れの付着と洗浄という課題に興味を抱き帰国後にステンレス配管内での卵白アルブミンの付着挙動の調査に取り組んだ．テストパイプを備えたステンレス配管，原液タンク，ポンプなどからなる小規模の装置を試作した．手順の詳細は省略するが，タンパク質 (卵白アルブミン) 溶液をパ

イプ内に循環させ，一定時間後に装置を停止し，テストパイプを取り出し付着量を測定した．特に高温条件では，恐らくポンプの性能上，流速・Re 数を大きく取れなかったためと思うが，実際の食品製造装置では考えられない大量のタンパク質の付着がみられた．実験後の装置の洗浄や廃液処理にも時間と労力を要した．このような状況下で，結局，本研究を続けることは困難であると判断した．ドイツなどのヨーロッパ諸国と日本では，大学での教育研究制度だけではなく社会の仕組みも異なるので如何ともし難いことを改めて認識した．この研究で得られた収穫は，タンパク質はステンレス鋼表面に強く付着することを初めて実感したことであった．なお，この実験には (現) 新潟大学教授

田中孝明先生が卒論生として意欲的に取組んで頂いた、この後、赴任した岡山大学では企業の研究者からの情報提供により、ステンレス粒子やステンレス平板を用い、小スケールのバッチ方式でタンパク質の付着実験と洗浄実験を行うことになった。しかし、このシステムは、比較的低温度で単一成分あるいは少数の成分を含む系での吸着量の測定や分子の吸着状態の解析などの基礎研究には適しているが、高温条件下で実際の食品の付着挙動を調査する実験には使用できないことがわかった。さらに、決定的な問題点は、実際の食品工業では連続操作あるいは回分操作が用いられる。一般的に連続操作では食品の状態が装置の位置で異なり、回分操作では食品の状態が時間的に変化する。本システムでは、このような状態を再現することはできない。それでは、どのように対処すればよいのだろうか？将来的に、様々な条件で小規模の回分系の実験を行い必要なデータを集積し、その結果を用いてコンピュータやAIを活用することなどにより装置表面上への付着挙動を予測することは果たして可能になるのだろうか？…

その2 解析結果からイノベーションは可能なのか？

加工・製造中の物性や相互作用の変化が少ない化学プロセスや食品プロセス中の現象を、化学工学的手法を用いて解析することは一般的には可能であり、既に多くの研究成果が得られている。しかし、筆者は、現象の解析や式による表現だけでは十分ではないと、随分前から何となく感じている。筆者は昭和42年(1967年)に化学工学科の4回生として卒業研究を行った。卒業研究の内容は、充填塔内での反応を伴うガス吸収の解析であった。当時は、装置内での現象を詳細に解析することは非常に難しい状況であったと思う。そのために、現象を単純化したモデルを用いて解析することが多く(上記のガス吸収の解析も同様)、場合によっては実験式を用いて実験結果を整理するという非科学的な手法が取られることもしばしばあった。ちなみに吸着等温式として有名な Freundlich の式も実験式であるが、多くの実験結果を整理することができるのでしばしば使用されている。その後、コンピュータの発展に伴い、より現象に忠実なモデルに基づいて物理化学、

移動現象論、工業反応速度論などを駆使して、より詳細な解析が行われるようになった。コンピュータの進歩は著しく、現在では様々な高度なソフトプログラムが利用できるようになってきている。さて、筆者が化学工学科の修士1年生の時に化学工学会主催の学生の集い(正確な名称は記憶していない)に参加する機会を得た。筆者は質疑応答において世話人の先生方に“化学工学の分野では装置内で起こっている現象の解析が重要であることは理解できますが、解析だけで終わるのでは物足りない感じがする。解析結果に基づいて、新しい方法論・手法、応用に向けての展開につなげることが必要ではないのか”という、身の程をわきまえない質問をした。一人の先生は、化学工学の目的は、現象をできるかぎり忠実に反映できるモデルに基づいて解析を行うことにあると言われた。もう一人の先生は“あなたが言うことは間違いではない。それが十分でない所が化学工学の弱点です”のように答えられたことを記憶している、定年退職するまで、常にこのことが頭の隅にあったが、残念ながらそのような研究を行うことができなかった。会員諸氏には諸現象の解析に満足することなく、また、必要に応じて他分野との共同研究も行いながら可能な限りその結果に基づいて革新的なイノベーションを生み出すことに興味をもって取り組んで頂ければと思います。

参 考 文 献

- 1) 井村直人, 中川究也, 山本修一, 安達修二, 鍋谷浩志, 熊谷仁, 酒井昇, 橋本篤: 20年の歩みとこれから~20周年記念シンポジウムからの提言, 日本食品工学会誌, **22** (1), A-3 - A-8 (2021).
- 2) 都筑卓司: なつとくする量子力学, p.176, 講談社, 1996.
- 3) 中西一弘: 日本食品工学会のこれまでとこれからの10年への期待, 日本食品工学会誌, **21** (4), A-1 - A-6 (2020).
- 4) https://www.lmvt.wzw.tum.de/fileadmin/Publikationen/161129_tum_lmvt_flyer_english_print.pdf.

(訂正) 文献3) 中のA-4ページの右欄, 下から14行目:
Weichenstephan → Weihenstephan.