

研究成果への期待

日本電気硝子

川地 伸治

Expectations of the Research Results

Shinji Kawachi

Nippon Electric Glass Co., Ltd.

古くて新しい技術

近代的なガラス溶解タンク窯は、F. シーメンスによって発明された。1860 年ころのことといわれている。図 1 は、「London, the 24th April 90, Friedrich Siemens」と署名のある図面である。もちろん 90 とは 1890 年のことである。

窯は、溶解室と作業室から構成されている。溶解室の幅、約 6 メートル、長さ、約 8 メートル、深さ約 1 メートルで、結構大きな窯である。そこに 8 箇所の手巻口がついている。溶解室の両側には、3 対の燃焼用ポートがあり、それぞれ燃料ガスと燃焼空気を予熱する蓄熱室が設けられている。窯の後ろには燃焼方向を切り替えるための手動交換弁がある。

現在使われているタンク窯のかなり正確なスケッチを図 2 に掲げたが、シーメンスの描いた図と見比べると、当時考えられたコンセプトがいまなお健在であることに驚かされる。もちろん電気モータや電鋳耐火物は、まだ発明されていないので、侵食の激しいスロートなどの設

計はない。

タンク窯の中は非常に高温で、熔融ガラスは侵食性に富んでいるので、炉の中の現象を直接観察することはほとんど不可能である。結局は、熟練した技術者の勘と経験によって、窯の内部でおこっている現象を推定し、タンク窯は少しずつ進化を重ねてきた。では、勘と経験だけで、ガラス製造にまつわる各種の諸問題が解けるかと問われれば、答えは多くの場合「yes」と言わざるを得ない。とにかく泡トラブルにしろ、成形不良にしろ、現場で技術者が格闘しているうちに、何とか問題が解けてしまうという不思議さは、日常よく見聞するところである。

このように技術者の個人的力量にたよらないで、普遍的な方法論を打ち立てようとした方がいる。それは、1950 年代、京都大学・工業化学科の沢井郁太郎先生を中心にこの課題に取り組まれた。研究方法として縮尺模型をつかったモデル実験などが盛んにおこなわれ、ガラス業界に対しても成果のフィードバックがなされた。しかし、時代の制約があったことも否めない。というのは、この研究には強力なコンピューターの力が不可欠であるからである。第一世代の国産スーパーコンピューターが現れたのが、いまから 15 年程前である。現在、ガラス熔融プロセスの解明については、オランダの

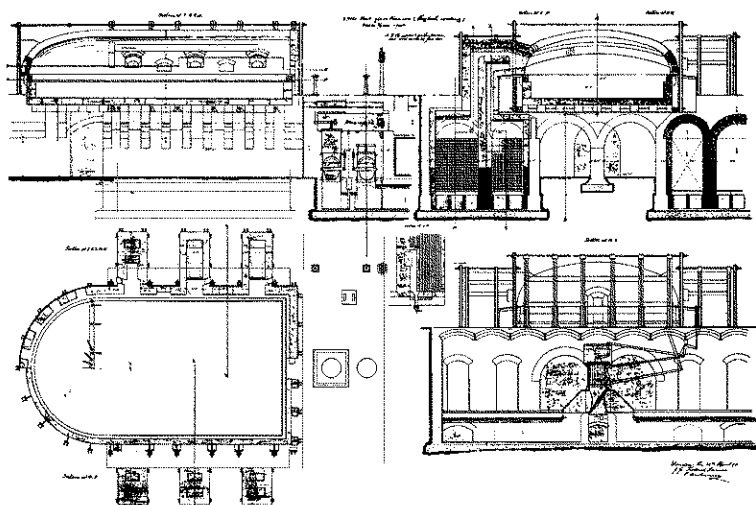


図1 シーメンスの描いたタンク窯図面

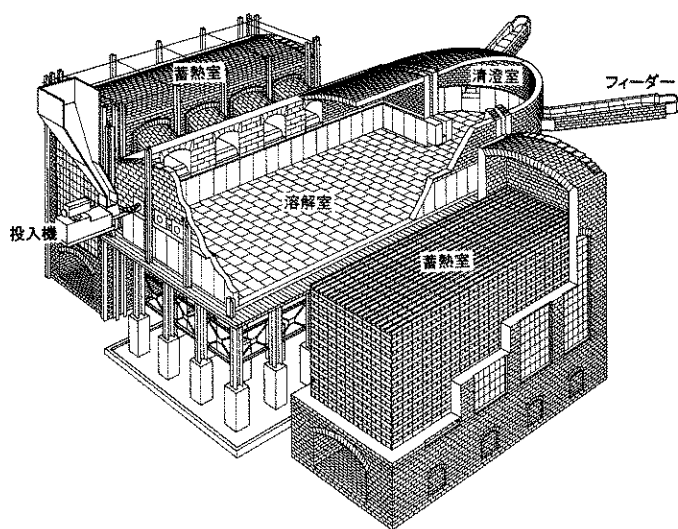


図2 現在のタンク窯のスケッチ

TNO 応用物理研究所から多くの研究が発表されているが、もう 30 年沢井先生が遅くお生まれになっていたら、いまごろはこれをしのぐ成果が京都大学から続々生まれていたに違いない、と思うことがある。

ガラス熔融プロセスをコンピュータ・シミュレーションという新しい方法論によって解明し

ようとしたのは MIT (Massachusetts Institute of Technology) の L. クロンバーク (1971) である¹⁾。それは、窯の中心断面における対流と温度分布を求める 2 次元解析で、現在から見ればささやかな結果であった。しかし、当社が技術援助契約を結んでいたオーエンス・イリノイ社の技術者から TV ガラス熔融窯のシ

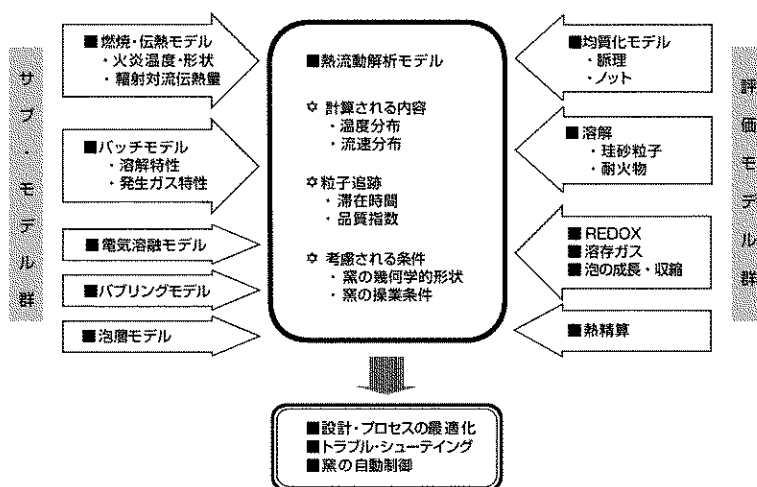


図3 溶融プロセスをあらわすモデル群

ミュレーション結果を見せられたとき、新しい技術の到来を感じないわけにはいかなかった。

溶融プロセスを記述するモデル群

現在考えられているタンク窯内の諸現象をモデル化したときの関連を図3に掲げた。この図は、H. パールの作成した図²⁾を筆者が修正したものである。モデル群の中心となるのは、ガラス融液の挙動を記述する熱流動解析モデルである。左側にあるサブモデル群は、熱流動に影響を及ぼすいくつかの要因がモデルとして挙げられている。図の中央にある熱流動解析モデルと左側にあるサブモデル群で記述される現象は、相互に影響しあっているため、本来連立して同時に解かれなければならない。しかし、現在のコンピュータ性能の制約から、まだ完全に連立される段階にはいたっていない。右側の評価モデル群は、上述のモデルによって決定された条件に基づいて生産されるガラスの品質や熱効率といったタンク窯の性能を評価するモデルである。これら評価モデル群の多くは、まだ萌芽的研究段階にあるといって過言ではない。

これら一連のモデルを計算することは、あた

かもコンピューターの中にあるタンク窯を構築・運転し、そこからある品質をもったガラスを生産するようなものである。この技術を virtual production と呼ぶ人もいる³⁾。これらのモデルが一体となって有用な情報を生み出すことができれば、タンク窯の設計や操炉条件の最適化、ガラス品質のトラブルシューティング、ひいては無人運転につながる炉の自動制御などに役立つ。

シミュレーションに必要な高温物性

ガラス融液の熱流動解析をおこなうためには、1000-1600℃の範囲におけるガラス融液の粘度、熱膨張係数、熱伝導率、比熱が必要である。熱膨張係数は、体膨張率であり、それはまた密度の温度変化率と同じ意味あいをもっている。また、ガラスに直接通電して発生するジュール熱によってガラスを溶解したり、補助加熱することがよく行われるので、電気伝導率（または電気抵抗）が必要となる。

さらに、気泡の清澄プロセスを解析するためには、溶融ガラスとガス間の物性が必要とされる。具体的には、ガス溶解度、ガス拡散係

数、表面張力である。ガラス中に溶存するガスの種類として、 O_2 , CO_2 , N_2 , SO_2 , Ar, H_2O などがあり、これらのガスに対するそれぞれの高温物性を知らなければならない。これらの物性値は、ガラスの種類、REDOX 状態などさまざまな条件によって変化すると考えられるが、その測定結果をさらに深いレベルから理解するために、ガラス構造との関連を明らかにすることも有用である。換言すれば、その関連が明らかになってこそ、測定結果への信頼が一層確かなものになるであろう。

これらの高温物性は、正確なシミュレーション結果をえるためには不可欠の条件ではあるが、測定の困難さや有用性の不明確さのために、粘度を除いて、これまであまり熱心に研究されてこなかった。しかし、ガラス熔融プロセスの解明のために、高温におけるこれらの正確な物性データは、必要条件の一つである⁴⁾。

今後の発展への期待

ガラス製造プロセス技術の体系化の方法論も科学的認識の一般的アプローチと変わらないであろう。まず現象が定性的に観察され、つぎに定量的測定がなされる。最終的には、法則という形で、数学を使って表現される。認識の内容が数学的に表現されると、認識の内容をあいまいでないものとしてくれる。したがって観察された諸現象が数学的法則の形で定式化されないうちは、技術は確立されたとは言えないくらい

である。

ガラスの製造現場は、非常に泥臭い、職人芸の世界のように見えるかもしれないが、上述の基準に照らしてみるなら、実は学問として未解明の課題が無数にころがっている宝の山ではないだろうか。しかも、現実の現象を少しだけでも解こうとすると、すぐにブレイクスルーを要する壁にぶつかり、結局、科学の基礎へとさかのぼらなければならない。

ガラス製造プロセスの工学的な解明とその体系化は、コンピューターという強力な手段を得て、今後多いなる発展が期待される。産業界としてもその研究成果を待っている。その第一歩として、高温融体物性測定プロジェクトが取り上げられた意義は大きく、その成功が大変望まれるところである。

参考文献

- 1) Clomburg, L. : Mathematical and experimental modeling of the circulation patterns in glass melts. M.I.T., Ph.D Thesis (1971).
- 2) Waal, H.: Mathematical modeling of the glass melting process. Glastechnische Berichte 63K (1990).
- 3) 河本真司 : 「熔融に関するコンピューターシミュレーションの基礎および応用」日本ガラス製品工業会技術研修会 (1997).
- 4) Krämer, F. W.: Simulation of fining in specialty glass., Advances in Fusion and Processing of Glass II, (1997).