

沸騰の研究の思い出*

東北大学教授 拔山 四郎**

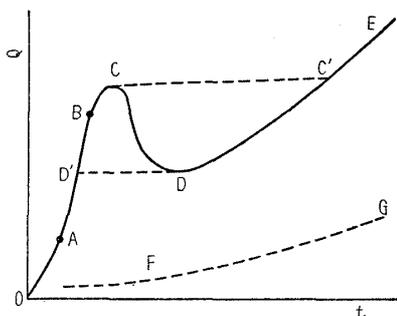
上記の題で自分のことを書くのは、やや気がひけるが、学会の命に従って書いてみる。了承されたい。

1気圧 100°C の水を沸騰させる時に、伝熱面の温度 t と伝達熱量 Q との関係は、第1図の OACDE のようになり、極大値 C および極小値 D がある⁽¹⁾。

私は、大学卒業以来、何となくボイラの研究をしてみたいと思っていた。丹羽重光先生の講義をきいたためと、卒業後第一にボイラの講義を受持ったためであろう。しかし、何から手をつけてよいか、五里霧中だったから、手近いところで、熱伝導率の測定などをしていた。

大正の終りか昭和の始めころだったか、暴風で日本の駆逐艦が陸へ吹きつけられて大破したことがある。軍人に、なぜ沖へ逃げなかったか、とたずねたら、ボイラは点火してから蒸気を使えるまでに約 30 分はかかるとのことであった。丸かまでは5時間以上かかる。私は、この時間を短縮しようと考えて調べたところが、flash boiler という既にすたれて実用になっていないボイラがあることを知った。焼けた鉄板に水を吹きつければ、瞬時に蒸気は出るが、水の純粋さからくるスケールの問題や、効率の問題が多くて見込みが立たない。そこで、せめて蒸発率を高めて、ボイラを小さくしたいと考え、まずその極限值を見出そうとしたのが前記の実験であった。

従来の文献では、すべて平板または管状の金属の管を使ったために、 t を大にすると Q は上昇の一途であるが、実験的に、さらに t を高めるだけの Q を供給できなくて、だいたい A 点付近までしか書いてない。

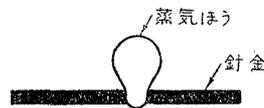


第 1 図

* 原稿受付 昭和 35 年 4 月 6 日。

** 正員、(仙台市桜小路、同学)。

私は、水に入れた針金を電流で熱して、伝熱面積としては針金の表面積をとり、電流から Q を求め、針金温度は電気抵抗から求める方法をとった。現在、内外で多く行なわれている実験もだいたい同様な方法と思う。針金の中心と表面の温度の差は、発生熱が針金の半径方向に均一に流れるとして、最大 1°C の何分の一かである。 t を増すと C 点に達するが、CD の間では不安定であるから、瞬時に、CDE の方向に移って C' で赤熱状態となって止まるが、多くの場合、針金が焼き切れてしまう。しかし、第2図のように、気ほうのある所とない所では温度が



第 2 図

て、1箇所が C を越えれば針金が切れるが、全体の電気抵抗から求めた t はたとえば B 点である。

私は OABC の曲線が、始め上方に曲がっているが、切れる付近で下方に曲がっていることで、C の存在を確認できたとした。

針金の太さの影響を見るのは、たいして困難ではなかったが、平面を使つての実験を行なうのはむずかしかった。 Q が非常に大きいため、やっと 1cm² くらいの平面の実験ができたに過ぎないが、以来、まだ平面を使つて B 点を求める実験が行なわれたのをきかない。

この実験を始めたころ、水が沸騰を始めないでも、針金の温度が容易に 105°C くらいになるので、「水は 100°C で沸騰する」との鉄則(過熱水はあるが、これは容易にできるものではない)に反するので、内心おおいに得意であったが、Clerk Maxwell や Lord Rayleigh 等の書いた古い教科書 Theory of Heat を読んだら、その中に、水はその圧力に相当する温度の上に、さらに接触面と水との cohesion に打勝つだけ高い温度になってから沸騰する、とこともなげに繰返して書いてあるのを見て、彼らは知っていたなと思った。以来、私は自分の書く論文の始めに、従来何々が知られていなかったから自分がやったなどと、うっかり書かないことにしている。

私は第1図の CD の部も実測しようと考えた。伝熱面が C を越えると、発生熱の方が水に伝わる熱より多

くなるので、針金の温度は急激に昇る。この早い現象を捕えるために、オシロスコープを買って電流と針金両端の電圧の変化を求め、それらから CD を求めようとしたが、この装置は精度が不十分で、不成功に終わった。その後、助手の黒瀬君が病気になり、第二次大戦が始まって何かと多忙でこの研究は一時中止した。

戦後、これに関して二つの事件が起った。

ある日、大学本部から電話で、今文部省から大学へ電話が来て、G.H.Q. の化学局から東北大学の前教授抜山に尋ねたいことがあるから上京するように、と言っているが、前教授がおかしいが何と返事しようか、とのことであった。

私は化学局なら思い当ることがあるからと、上京して宮城前の G.H.Q. へ行った。数人のアメリカ人が出て来て、よく来たと言われ握手して、私 1 人をいすに座らせ、実はこの手紙が来たがと California かどこかから来た次の手紙を見せた。

「私は〇〇大学にいるが、私の研究に最も参考になるのは、日本の抜山の論文（前記の題を書いてある）である。私は抜山のその後の論文を調べたが、彼はその後研究の方面を変えたいらしい。しかし、彼の研究の重要性から見て、日本で他の人がその方面の研究を続けているに違いないから、彼と連絡をとって、日本のその後の研究内容を知らせてほしい。また、私は日本語がわからないから、英訳してほしい。抜山については、彼が戦前東北大学の教授であったことしかわからない。」

私は、この研究の続きがアメリカで行なわれたことは聞いているが、日本ではないと思う、と答えたが、当時としてはだいたい当たっていたと思う。

当時は、アメリカ人が絶対の権力者であったため、私にも小さな反感があった。帰りに、アメリカのために来たから仙台-東京間の旅費を出してくれ、と言ったら、それは当然だと言ってすぐに旅費をくれた。今から見ると少々はしたないが、小さな抵抗であった。

このことと前後してアメリカの化学者 Fox が数人を従えて仙台の大学の研究を調査に来た。そして前記も含めて、私の研究をくわしくたずねた。この人ほど、私が研究に際して出合った困難の急所をよく理解して、急所急所の質問をした人は少ない。最後に、「これらの研究は、日本のどこで実際に応用されているか？」「日本の工業は研究結果を応用するのにきわめて消極的だ。」「なぜか？」「一つは、研究自体が完成していない場合が多くて、応用して失敗する例が多いことと、もう一つは、一回でもむだにしくじりたくないからだろう。」「でも、卒業生は自分の先生の仕事を信頼して、

応用するのではないか？」「応用して、第 1 回で成功しなかった場合に周囲がうるさいから、私は卒業生にこのような重荷を負わせたくない。」「それは気の毒だ。アメリカへ来て研究するつもりはないか？」

アメリカ人は口で言ったことは思っていることだから、うっかり返事はできない。しばらくして、「今の日本人は食うや食わずだ。私は長い間、日本のおかげで生活して来たから、この際、アメリカへ行ってゆっくり仕事をする気持にはなれない。日本の産業の発達に協力して、皆がもう少し豊かな生活をしてから考える。」「その考えは大変よろしい。」

私はだいたいこの時期から研究を広げて、工場の熱管理、ボイラの試験等を行なって、燃料の節約に協力したが頭書の研究とのギャップが広過ぎるようだ。

戦争が終った直後には、研究費はないし、少し前記の研究をくりかえす意味で、赤熱した鉄を一定温度の水に入れて、試料中心の温度変化を測り、これから逆に試片表面および内部の各点の温度の時間的変化を求め、かつ、その温度こう配から伝熱量を求めて、第 1 図の D の方向から DCBA と進ませた。ただし、この場合には、この曲線を求めるのを主眼とせず、B 点の高さを測って、これを焼入れの液の研究に資することにした。B 点で曲線が降りるのは、不良導体の蒸気が多くなって面をおおうためと考えたので、重そう水を使ってみたが、B 点は予想に反して高くなった。塩水、どろ水ならば、蒸発後に固体が面に残るから、B 点が低くなるかと考えたが、やはり、B は高くなるようだ。沸騰がはなはだしいために、伝熱面に塩やどろの膜が定着しないのであろう。

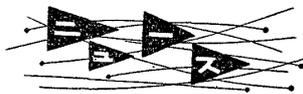
ちょうど、手元にあった亜硫酸パルプ廃液を水でうすめて用いたら、濃度にしたがって B 点が低くなった。すなわち、このような有機物は金属面にこげつくために、水との接触が悪くなって、B 点が降りるので、油焼入れが水よりやわらかく焼入れられるのも、この理由であろう。

すなわち、亜硫酸パルプ廃液のように、水でうすめ得て、かつ、こげつくものを用うるならば、任意の B の高さすなわち任意の強さの焼入れができるわけである。この意味では、このような液の方が油よりもすぐれているといえるが、しかし、油の場合には、油の温度が変わっても、B の変化が少なく、ほぼ一定のかたさの焼入れができるし、また、焼入れ後品物を放置しても、油がさび止めになるなど、なかなかすて難い。

昭和 22 年に棚沢博士等が水のスプレーを鉄板に当てて焼入れを行なう研究⁽²⁾をして、B 点のような冷却の極大値のあることを発表した。また、本年 3 月東海

支部の講演会で、武山博士が水のスプレーで空気と水の混合比を変えて、それと針金との間で、第1図の曲線を求め、これが水の場合の第1図の実線と空気の場合の破線 FG との間にはいることを報告している。他方、九州大学の山県、西川博士らは、さらにこのような沸騰の模様すなわち蒸気ほうの形とかその他の熱伝達の解析を行ない、研究を進めている。

昭和34年、棚沢博士が内燃機の研究の一部として、油滴が高温壁に当たって、蒸発する速度と、壁温との関係が、第1図と同様である⁽³⁾ことを求め、London で講演された。私は録音をきいたが、D 点の Leidenfrost point に対して、「皆様の御賛成を得て、B 点を抜山点と名付けたい。」と言って拍手を受けたのは印象に深い。



アメリカ産業の科学者および技術者雇用実態

アメリカ労働者統計局が National Science Foundation のために行なった調査によれば、1951年1月にアメリカの事業会社は約 780 000 人の科学者および技術者を雇い入れた。このうち全体の約 35% が技術者および科学研究所開発活動に従事している。

調査対象産業部門の科学者および技術者は、被雇用者全体の 2/3 近くを占め、残る 1/3 が政府機関、教育機関、非営利組織および個人が雇用したものである。

1959年1月に科学者および技術者を最も多く雇ったのは、航空機およびその他部品の生産会社、電気機具、化学品およびその関連品生産会社で、これらはおのおの 75 000 人以上の科学者および技術者を雇用した。結局私企業において、科学者および技術者の全員の 1/3 をこれらの産業が雇用し、また私企業で研究

私が 25 年前にボイラを対照にして偶然行なった実験は、欧米のそれより 10 年近く先じたが、近時原子力ボイラの蒸発率が大きいためこの研究が脚光をあびた。そして一応欧米の研究の方が盛んになってきた。

しかし、近時わが国でも多くの優秀な研究が、つぎつぎと行なわれて、私のものが小さくかくれてしまうのを見るのは楽しいものである。

文 献

- (1) 抜山, 機械学会誌, 37, 207 (昭 9-6), 367.
- (2) 棚沢, 外 3 名, 機械学会誌, 50, 342 (昭 22-1), 9.
- (3) Z. Tamura & Y. Tanazawa, *Seventh Symposium on Combustion*, (1959), 502.

開発に従事する科学者および技術者の約半数をこれら産業で雇用したことになる。次に科学者および技術者 50 000 人以上 75 000 人以下を雇用した産業は機械(電気機械を除く)および建築サービス業である。また同様に 30 000 人以上 50 000 人以下を雇用した産業は建設事業、金属加工業自動車装備工業であった。

私企業全体で、1959年1月現在の雇用科学者および技術者数は、前年同月に比し 4% 多くこのうち技術者は、前年同月の約 605 000 人から、1959年1月には 630 000 人に増加し、科学者は約 145 000 人から 150 000 人に増加した。

(Science, Vol. 131, No. 3404, 1960)
(日本科学技術情報センター提供)

アメリカの研究費負担者と使用者

技術革新は長期的経済成長の根元であるという思想はアメリカに深く根を張って、今やアメリカでは研究投資が組織化され、最も活発化している。すなわち 1953~1954 年の研究開発費 551 000 万ドルが、1960 年には 1 243 000 万ドルにはね上がると推定され、Business Week 誌では 1962 年に 1 500 000 万ドル、1969 年には 2 800 000 万ドルに達するだろうと考えている。

これらの研究費の 60% は政府が負担し、使用するのは、大半が一般産業である。普通その使用者は軍事および公共機関と考えられているが、実際には一般産業が最も多く使用している。しかし 1969 年までにはこのような状態は変わってきて、産業界が最も多く負担かつ使用しこれが採算に合うようになろうと考えられている。

最近の研究費負担額と使用実績および 1962 年と

1969 年の推定を Business Week 誌は下記のとおり報じている。

(単位百万ドル)

	1958~ 59年	1959~ 60年	1962年	1969年
研究費負担者				
国 家	6 720	7 700	8 500	11 000
産 業	4 149	4 426	6 165	16 400
公共機関(大学,研 究所等)	291	304	335	600
計	11 160	12 430	15 000	28 000
研究費使用者				
国 家	1 720	1 780	1 700	3 060
産 業	8 400	9 400	11 550	21 240
公 共 機 関	1 040	1 250	1 750	3 700
計	11 160	12 430	15 000	28 000

(Intern Management Dig, Vol. 15, No. 4, 1960)
(日本科学技術情報センター提供)