

# 戦後の発電技術の変遷と植田先生ご業績

2014年10月11日

小泉安郎

タイトルとは違って、思い、思い出を語らせて貰います。

人生の中で、戻りたい時期は？

その内の1つ！

修士、博士課程の植田・田中研の5年間。

全く自分に没頭できた。

幸せな時間を過ごせて感謝。

植田先生との出会い

修士入試面接会場が初めて。

当初、別の熱系研究室を志望研究室としていた。

(なぜか、甲藤先生の伝熱概論で沸騰を勉強していながら、甲藤研究室は全く念頭になかった。)

面接控え室で、植田先生は沸騰やってるよ、の声が耳に。

で、突然面接で、植田研に行きたい！と。

その時、面接の先生方が、ウヲ！と声を上げたのを鮮明に覚えている。

そんなことがあって、3月に卒論を持って挨拶に行っても殆ど会話が無く、

研究室に入って授業が始まっても会話が無く-----。

修論テーマも自分で決めろ！と。

それで、お酒クンクン事件！

実は、工学部2号館植田先生居室に入ったのは学生時代2回しかない！

1回目は、学位論文のまとめを始めよ。確か、博士3年6月頃。

2回目は、審査の先生はこの先生方、と伝えられ、期限までに学位論文コピーをわたすようにと。

自分の性格で、あまり人に相談することもなく、博士を卒業するときに植田先生から一言『自分の力だけで卒業できたと思わないように。』  
グサッと来ましたが。

そうは言っても、植田先生、田中先生にはよく指導を受けました。

2ヶ月に1回ほどのペースであった研究会

そうですが、一番の印象に残るのは

修士2年の最後、伝熱シンポジウムの原稿。

よほどひどかったのか、植田先生から田中先生へ回されて、

- ・数時間1対1で向き合っ
- ・全行、これはこうだと、目の前で書き直されて。

これがその後の全ての糧に。

文章を書くことの技の基本。

その後、投稿原稿は直されることもなく、任されることに。

もう一つ、大きな力になったのは、

成合先生がMITからHynek、Forslandの学位論文を持ち帰られて、それを田中先生からいただいたこと。



1973年(昭和48年) 研究室で、M2

1973年(昭和48年)  
仙台伝熱シンポジウム 瑞巖寺  
M2





1974年(昭和49年) 2号館中庭、D1



1975年(昭和50年) 福岡伝熱シンポジウム 大濠公園、D2



1983年(昭和58)年秋、渋谷？  
田中先生の呼びかけで、第1回植田先生と奥様を囲む会

## 垂直管内気液混合物の液面上昇に関する研究

AM-91016 八木純二

1. まえがき 垂直管内において、中心部に気相の上昇流があり、管壁に沿って液膜が流下する対向気液二相流では、気相上昇速度の増大とともに、液相の一部がさらには全てが上昇流に遷移する現象が見られる。この場合の液の上昇開始は一般にフラッディングと呼ばれている。さて、管路下部に気液の混合した液だまりがあって、上部に流下液膜の存在する対向流における液相の挙動は、上記の開放系の対向流の場合とかなり異なった状況になるものと思われる。このような、流下液膜と気液混合物の共存する対向流の液相の挙動は、原子炉のある種の冷却材喪失事故時に炉心や蒸気発生器逆Uチューブ内で重要な問題となる。また二相サーモサイフォンでは、この状態の液相の挙動が性能に大きな影響を持つ<sup>(1)</sup>。

上述のような、管路下部に気液の混合した液だまりがあり、上部に流下液膜が共存する場合の気液混合物液面上昇について、植田・小泉<sup>(2)</sup>は検討を加えている。気相の上昇と液相の流下の関係から気液混合物の平均液面高さおよび液面変動高さを予測する式を導き、大気圧下での水-空気系による実験結果と良好な一致を得ている。

また、小泉<sup>(3)</sup>らは、気液の混合した液だまりと流下液膜の共存する場合の管路上端からの液の吹き出し開始（流下液膜と下部に気液混合物とが共存する場合のフラッディングと定義）について水-空気系の実験を行い検討を加えている。この場合のフラッディングは、液だまりがなく流下液膜だけの場合の開放系フラッディング<sup>(4)</sup>とは異なり、植田・小泉の検討と同様な変動をともなう気液混合物液面の上昇により生ずることを明らかにしている。

ところで、植田・小泉<sup>(2)</sup>は上述のような気液混合物の平均液面高さおよび液面変動高さ、特に後者について、気液の合体の進行状況が大きな影響を持ち、したがって、気液の物性値に応じて変化する可能性を指摘している。

本研究は、以上の経緯に立ち、水-空気の場合と異なる気液の物性値の組み合わせを持つフロンR-113を実験流体に用い、流下液膜共存時の垂直管内気液混合物の液面挙動およびフラッディングについて調べた。

2.1. 実験装置 実験装置系統図を図1に示す。装置はテスト部、テスト部下端の蒸気吹き込み部と上端のプレナム部、蒸気凝縮器、R-113液だめタンク、蒸気発生器、冷水機、及び冷水

タンクからなる。テスト部には長さ1.5m、内径14.8mm、外径18mmのバレットガラス管を用いている。テスト部を含め各部は充分保温されている。ただし、テスト部内部の流動状態が目で観察できるようになっている。流体にはフロンR-113を用い、実験は装置内圧力0.101MPaで行った。

液だめタンク内のR-113液はポンプ2によって液だめタンク内を循環され、タンクへの戻り管路に巻かれたヒータH2によってタンク内液温は飽和温度に近い値（サブクール1~2°C以内）に保たれる。液だめタンクの内部にはテスト部内液位設定用の短管が設けられ、ポンプからの戻り液はこの短管上端からタンク下部に流下する。液だめタンク上部下端とテスト部下端は接続されていて、テスト部に液だめタンク上部の液位と同じ高さの静水頭の液位が形成される。

液だめタンク内のR-113液は、ポンプ1によって蒸気発生器に送られ、ヒータH1によって加熱され蒸気となって流れ出る。発生した蒸気は蒸気流量計までの管路に巻かれたヒータH4によってさらに加熱され、若干過熱された蒸気となり、流量計を経由してテスト部下端の蒸気吹き込みノズルに至り、テスト部流路内液柱に吹き込まれ、テスト流路内に気液混合物液位が形成される。尚、ノズルは内径1mmの小孔で、総計12個ある。テスト部上端から流れ出た蒸気は凝縮器に入り凝縮して液だめタンクに流下する。

一方、ポンプ2によって液だめタンクからR-113液がテスト部上端に設けられたプレナムに送られる。この液温は管路に巻かれたヒータH3によって飽和温度に近い値（サブクール1~2°C以内）に保たれる。上部プレナムに送られたR-113液は管路内壁に沿った液膜となって下部の気液の混合した液だまりに流下する。流下した液はテスト部下端から液だめタンクに戻り、テスト部の静水頭は一定に保たれる。

2.2. 液面挙動に関する実験 流下液膜のある場合、上昇挙動

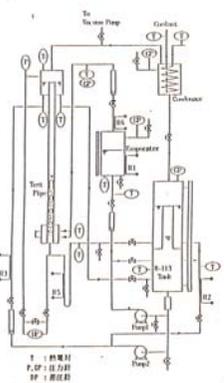


図1 装置系統図

1993年(平成5年)2月

植田先生工学院大学退職後2年

工学院大学で最初に持った修士学生の修論要旨

学生に、機械学会論文集へ投稿の気概で書けと。(6ページ、決まりは2ページ。)

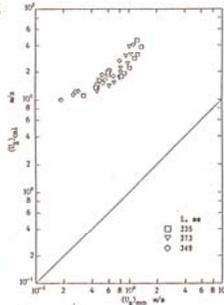
植田先生に目を通してコメントをいた最多最後の原稿

機械学会論文集に収録されている





を提案している。図14に式(30)によるフラッディング速度  $U_{FD}$  の計算値と測定値の比較を示す。計算値と測定値には系統的差が見られる。気液の物性値の組み合わせによる補正を施すことにより、式(30)をより一般的条件へ拡張できる可能性が示されており、今後検討を要する。



5. 結論 垂直円管内R-113静止液柱ならびに上部に流下液膜の共存する液柱にR-113蒸気を吹き込み、気液混合物液面の挙動及び管路上端からの液相の吹き出し開始（フラッディング）を調べ、以下の結論を得た。

- (1) 気液混合物液位は気相流速の増加とともに変動をともなって上昇する。観察された気液混合物の流動状態は主にスラグ流であり、蒸気流量の増加にともなうて、チャーン流へと遷移し、静止液柱の場合には、さらに環状流への遷移が観察された。
- (2) 平均液面高さの気相流速の増加にともなう上昇割合は、流動状態がチャーン流へ遷移すると増加し、環状流域ではさらに大きくなる。液面変動高さはスラグ流域では蒸気流量の増加とともに増大するが、チャーン流、環状流域では低干傾向を示す。これは、R-113-空気系、水-空気系の場合もある。
- (3) 液面変動高さは水-空気系の場合に比べ約35%程度の値であった。
- (4) 水-空気系の同種の実験から導き出された気液混合物の平均液面高さ及び液面変動高さと気相見かけ流速との関係の予測式は本実験結果の傾向をよく表していた。
- (5) 予測式中で用いられる液相速度分布を表すパラメータ  $n_f$  は水-空気系の場合より大きな値をとる。また、液面変動を表すパラメータ  $N_f$  は水-空気系の場合より小さく約35%程度の値をとる。
- (5) 水-空気の同種の実験から導き出されたフラッディング開始時の液相見かけ流速と気相見かけ流速との関係の予測式は本実験結果の傾向をよく表していた。
- (6) 気液の物性値の影響を加味することにより、水-空気系の同種の実験から導き出されたフラッディング速度整理式をより一般的条件へ拡張できる可能性が示された。

(削除可)

参考文献 (1)植田・宮下, 機論, 56-526, B(1990), 1746~1752. (2)植田・小泉, 機論, 58-547, B(1992), 904~910. (3)小泉・植田・宮下, 第28回日本伝熱シンポジウ

ム講演論文集, Vol. III (1991), 781~783. (4)小泉・植田・宮下, 第27回日本伝熱シンポジウム講演論文集, Vol. III (1990), 989~990. (5)Griffith, P. and Wallis, G. B., Trans. ASME, Ser. C, 83(1961), 307. (6)Nicklin, D. J., ほか2名, Trans. Inst. Chem. Eng., 40(1962), 61. (7)White, E. T. and Beardmore, R. H., Chem. Eng. Soc., 17(1962), 351. (8)赤川・ほか2名, 機論, 36-289(1970), 1535. (9)植田, 気液二相流(1981), 108, 養賢堂. (10)植田・田中, 機論, 39-325(1973), 2842.

## 植田先生

大正13年3月2日 岡山県生まれ  
昭和19年9月 旧制松江高等学校 理科甲類 卒業  
昭和19年10月 東京帝国大学第一工学部 機械工学科 入学  
昭和22年9月 同上 卒業  
昭和22年10月 東京大学第一工学部 機械工学科 大学院 入学(特別研究生)  
昭和24年9月 同上 前期修了

昭和24年12月 東京大学講師(第一工学部)  
昭和28年2月 東京大学助教授(工学部)  
昭和35年12月 東京大学教授(工学部) 機械工学科第一講座  
昭和59年4月 退官  
昭和59年4月 工学院大学工学部機械工学科  
平成3年3月 退職

東京空襲 2号館屋上

学生を終えられて

繊維の乾燥について(第1報)熱気透過式乾燥 (共著者 谷下市松)  
繊維機械学会誌 3巻2号(昭25-2) p. 19-25

繊維の乾燥に就いて(第2報) (共著者 谷下市松)  
繊維機械学会誌 3巻7号(昭25-7), p. 13-16

繊維の乾燥  
日本機械学会論文集 17巻62号(昭26), p. 188-194

学位： 昭和29年4月

東京大学 工学博士

『噴流ポンプに関する研究』

蒸気エゼクタに関する研究(第1報) 日本機械学会論文集

蒸気エゼクタに関する研究(第2報) 日本機械学会論文集

蒸気エゼクタに関する研究(第3報) 日本機械学会論文集

蒸気エゼクタに関する研究(第4報) 日本機械学会論文集

空気エゼクタに関する考察 日本機械の研究

蒸気エジェクタの設計指針になっている。

発電プラントの復水器

蒸気機関車

工学院大学で

助手の宮下 徹先生 空気エジェクタ

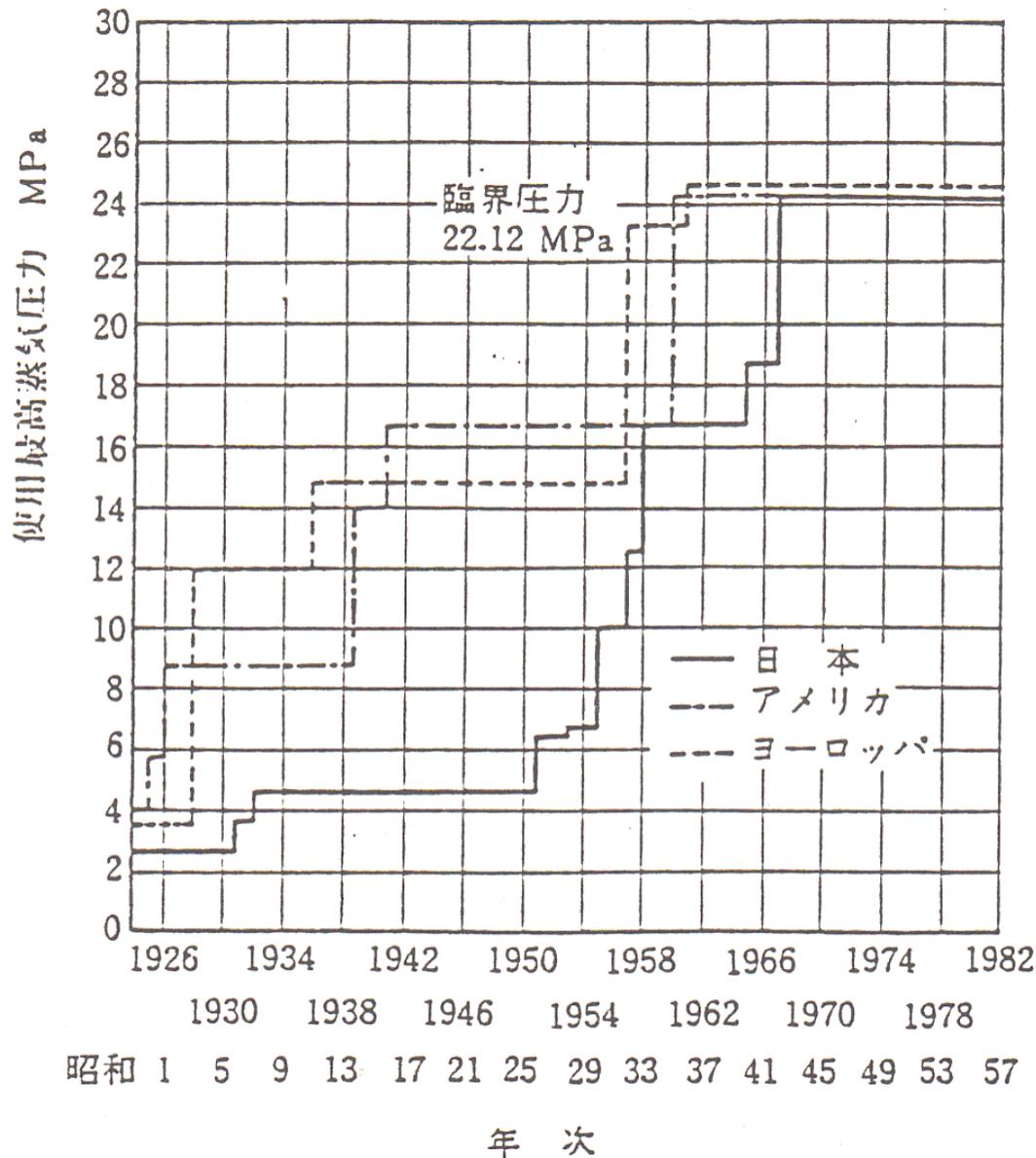
何と更に随分経って、当方

東電(エネルギー総合研究所経由で、元は経産省)受託研究4年

蒸気インジェクター

BWRの給水ポンプ、安全性系統への適用

# 植田先生の書かれた資料



使用最高蒸気圧力の変遷 (事業用火力)

## よく耳にした言葉

戦争が終わって、欧米の情報が  
入ってきて、発電プラントの進展に  
は目を見張った。

自分が学んできたことは、全く過去  
の物になっていた！

## 発電プラントの熱流動への関心

1966年10月～1967年10月

UC Davis, Warren H. Giedt

MIT, Warren M. Rohsenow

二相流の研究に本格的に取り組み。

相変化伝熱をともなう気液二相流に関  
する研究をまとめた著書

『気液二相流－流れと熱伝達－』

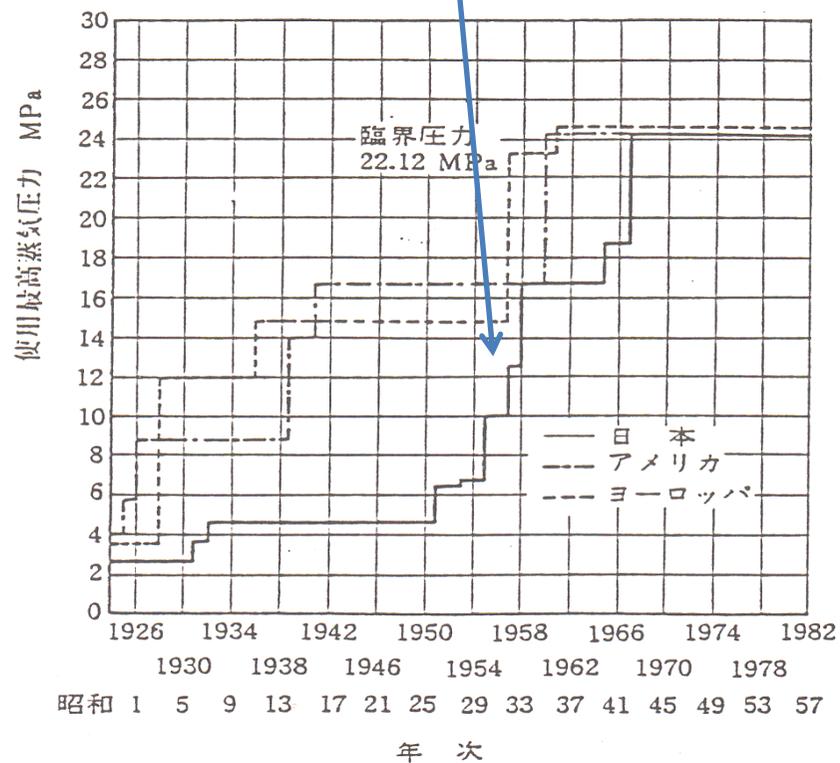
バイブル

絶版になって、養賢堂からも頼まれて、増刷  
を出して下さいとお願いしたところ、『あの本  
は研究をしている人間が出したから意味が  
ある、研究をしていないから出す資格はな  
い、後はお前達がやれ。』私と刑部先生に  
投げつけられて、現在に。はて？！

# 日本の戦後の復興、発展、現在への歩み

エネルギー供給、発電プラントの発展が為した結果  
この歩みと植田先生の研究の歩み・貢献はいつにしている。

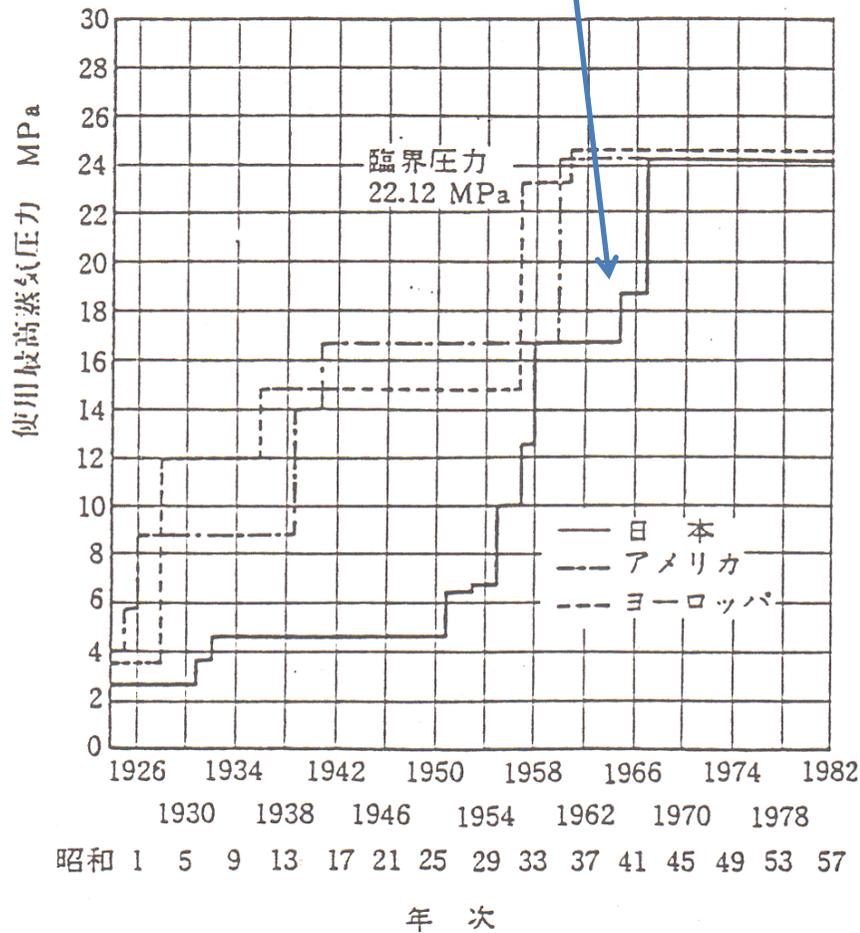
汽水混合流に関する研究 —— 垂直上昇管について、日本機械学会論文集 23巻132号(昭  
32-8), p. 553-558



使用最高蒸気圧力の変遷 (事業用火力)

# 気液混合物の垂直管内上昇流について(第3報, 熱伝達率について)(共著者 花岡正紀)

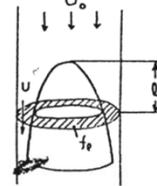
日本機械学会論文集(2) 33巻248号(昭42-4), p. 619-625



使用最高蒸気圧力の変遷(事業用火力)

429 スラッグフローにおける相対速度の解析 (才1報) 講演要旨

東京大学工学部 植田辰洋  
トヨタ自動車工業 \*花岡正紀



才1図

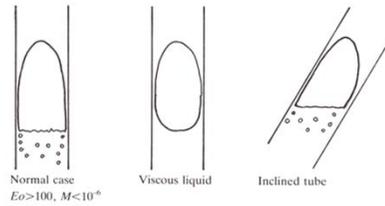
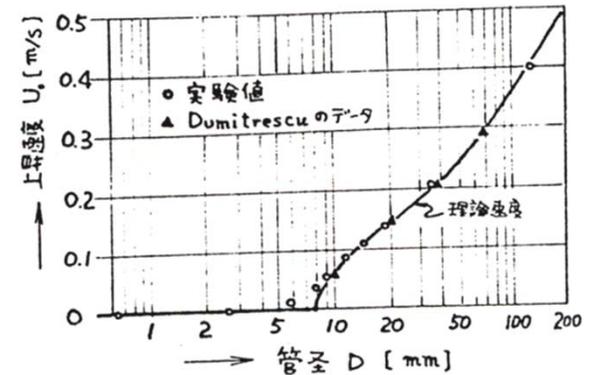
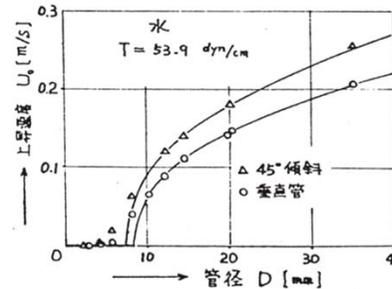


Fig. 3.7. Plug shapes.

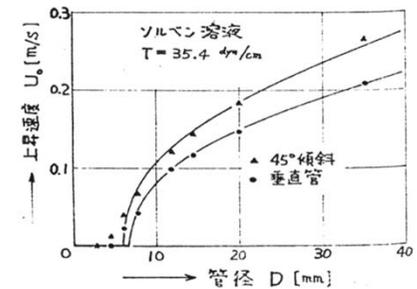
## 不安定界面波動の伝播速度



才5図 垂直管水中空気スラッグ上昇速度



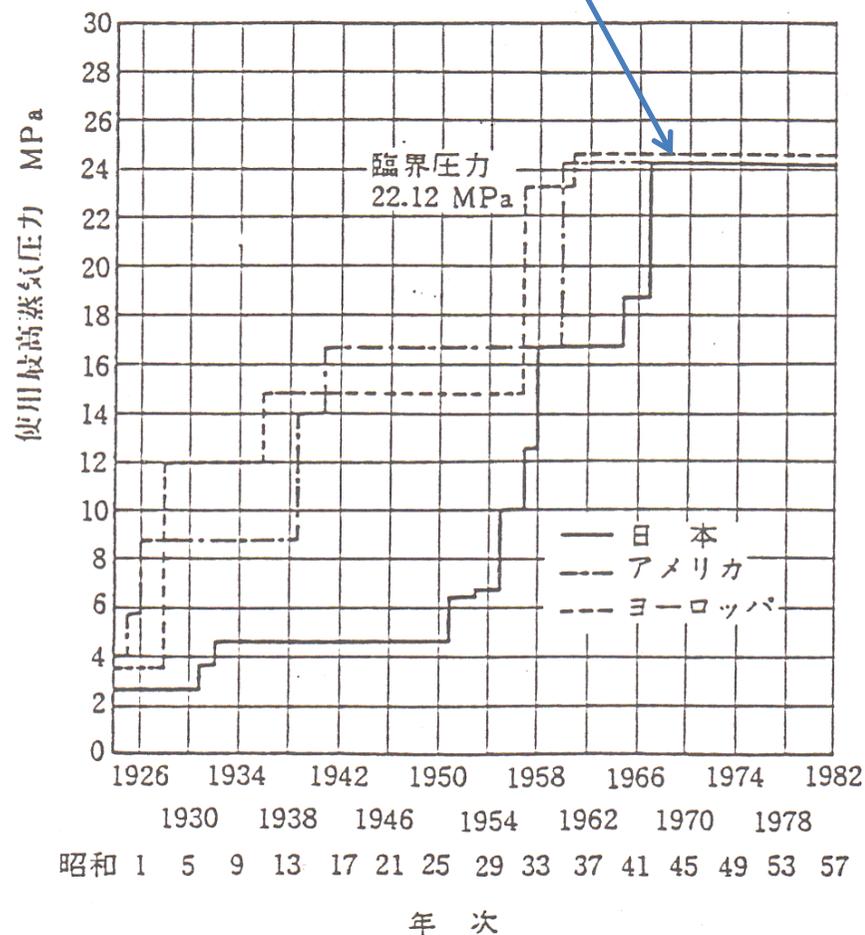
才7図



才8図

噴霧二相流における液滴輸送(第1報, 輸送量, 速度および液滴分布の測定)(共著者 波江貞弘)日本機械学会論文集(2) 38巻308号(昭47-4), p. 821-831

噴霧二相流における液滴輸送について(第2報, 液滴輸送の解析と輸送量の考察)(共著者 波江貞弘)日本機械学会論文集(2) 38巻312号(昭47-8), p. 2126-2137



### 機械学会論文賞

当方M1。機械会館？(東京タワーの下)

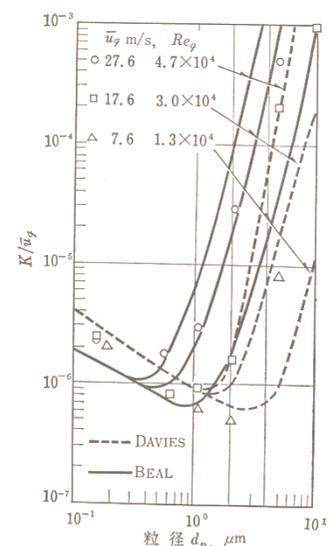


図 9.9 粒子伝達係数と粒径の関係 (BEAL)

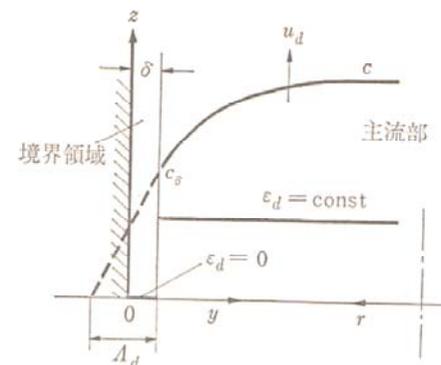


図 9.11 液滴伝達の解析モデル

当方、最近あちこちで爆発。

**原子力発電所のWet Bent。**

まさにこの話。

Stopping Distanceも通じず！

なぜ核種が水に取り込まれるか？これが説明できなくて、何がスクラビングだ！？

環状気液二相流における液膜流について(第1報, 垂直管内下降流) (共著者 田中稔彦)

環状気液二相流における液膜流について(第2報, 垂直管内上昇流) (共著者 能勢士郎)

流下液膜の流動状態に関する研究 (共著者 田中宏明, 石田堅治)

流下液膜の伝熱と破断について(第1報, サブクールの大きい水膜の場合) (共著者 藤田稔彦)

流下液膜の伝熱と破断について(第2報, 沸騰をともなう飽和水膜の場合) (共著者 藤田稔彦)

蒸発管内噴霧流領域の伝熱特性の研究(第1報, ドライアウト過程について) (共著者 小泉安郎, 田中宏明)

蒸発管内噴霧流領域の伝熱特性の研究(第2報, ドライアウト後の伝熱について) (共著者 小泉安郎, 田中宏明)

環状気液二相流における液滴発生率と液滴径について

強制流動沸騰系におけるドライアウト熱流束と液滴径について (共著者 金京根)

沸騰流下液膜の限界熱流束と液滴発生率 (共著者 井上満, 永留世一)

流動沸騰系の限界熱流束と液膜流量 (共著者 諫山保志)

垂直高温面の液膜冷却 (共著者 井上満, 岩田裕弘, 惣川宜靖)

強制流動沸騰系における限界熱流束とリウエッティング (共著者 恒成茂, 小柳雅行)

垂直高温面の液膜冷却(液サブクールの影響) (共著者 井上満, 小谷一雄)

サブクール沸騰流における伝熱および流動特性について(第1報, 沸騰特性) (共著者 日野竜太郎)

サブクール沸騰流における伝熱および流動特性について(第2報, 流動特性) (共著者 日野竜太郎)

日本機械学会論文集(B) 50巻460号(昭59-12)

サブクール沸騰流の限界熱流束と膜沸騰遷移 (共著者 金京根, 犬丸淳)

垂直加熱管内流下液膜および低質量流量上昇流のドライアウト熱流束 (共著者 小泉安郎, 松尾輝之, 御代田幸雄)

垂直円管外等温流下液膜の最小ぬれ膜流量に関する研究 (共著者 小泉安郎, 児玉裕紀, 大竹浩靖, 宮下徹)

全て繋がっている。

流動沸騰系の限界熱流束をどう物理的に理解するか。

そのための積み重ね。

甲藤先生の整理法。

確かに使えるが物理は浮き上がってこない。

先生の主張。

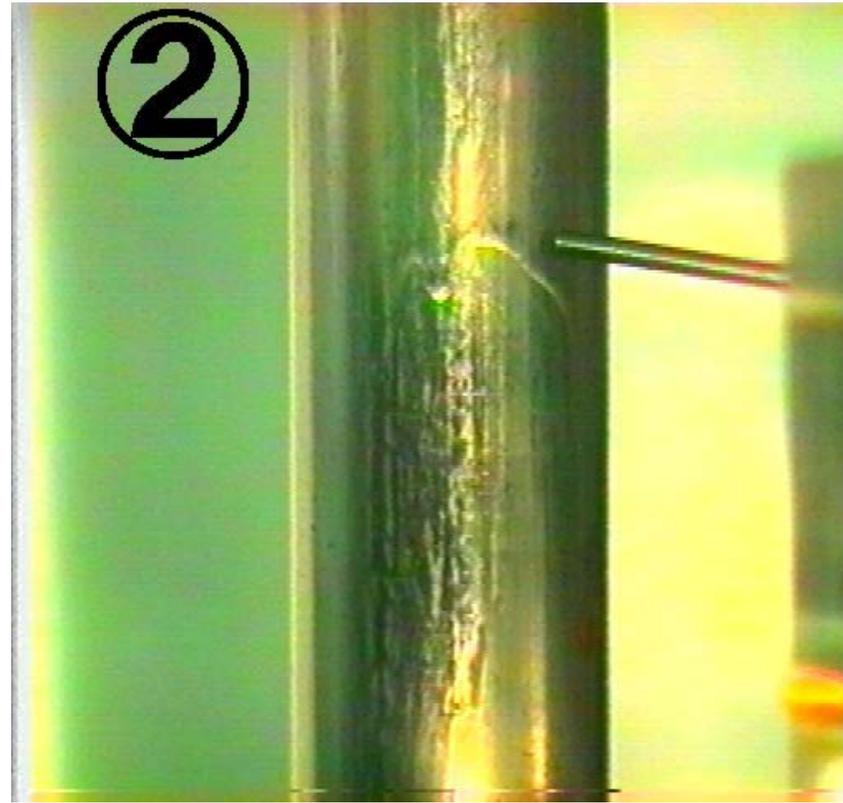
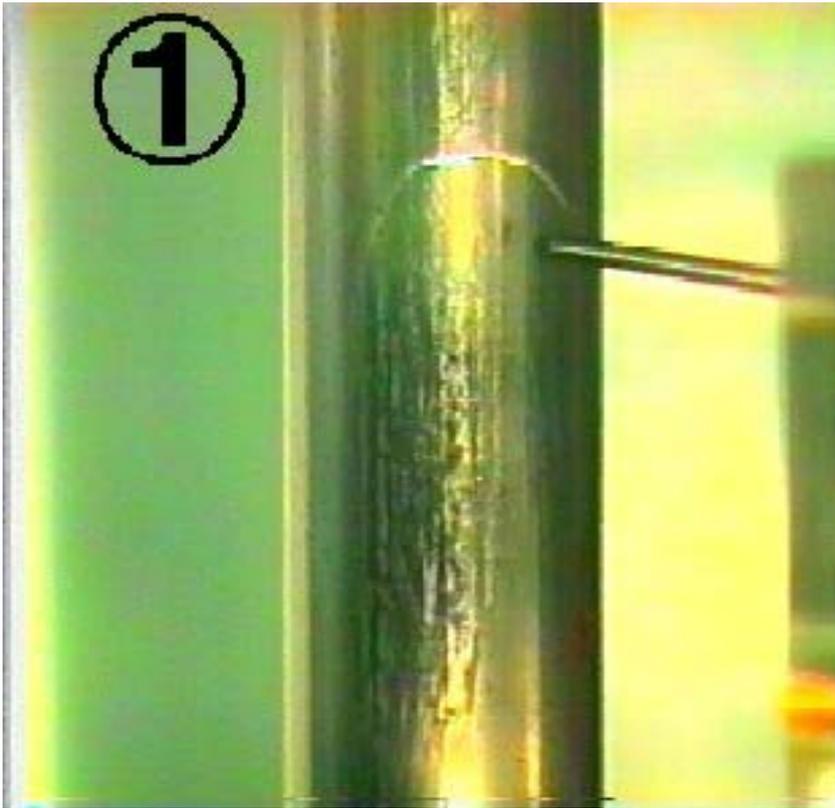
プール沸騰であれ、流動沸騰であれ、現象を決めているのは全くローカルな話。違いは無い。

当方全く同感。

壁面における液の挙動が現象を決める。

これを残したい！

残念ながら、今の研究の流れは、何が本質かを見ようとする雰囲気が無い！



R113

$Re_f = 2.81, 2.3 \times 10^{-2}$  , Mean film Thickness =  $10^{-2}$  mm オーダー

## ドライパッチ上端の液接触角

液膜の最も厚い状態(a)と、最も薄い状態(b)間で周期的に状態は変化

液膜よどみ点の下方への移動開始、すなわちドライパッチの液膜によるリウエットは常に(a)の状態から発生



(a) Maximum Contact Angle State

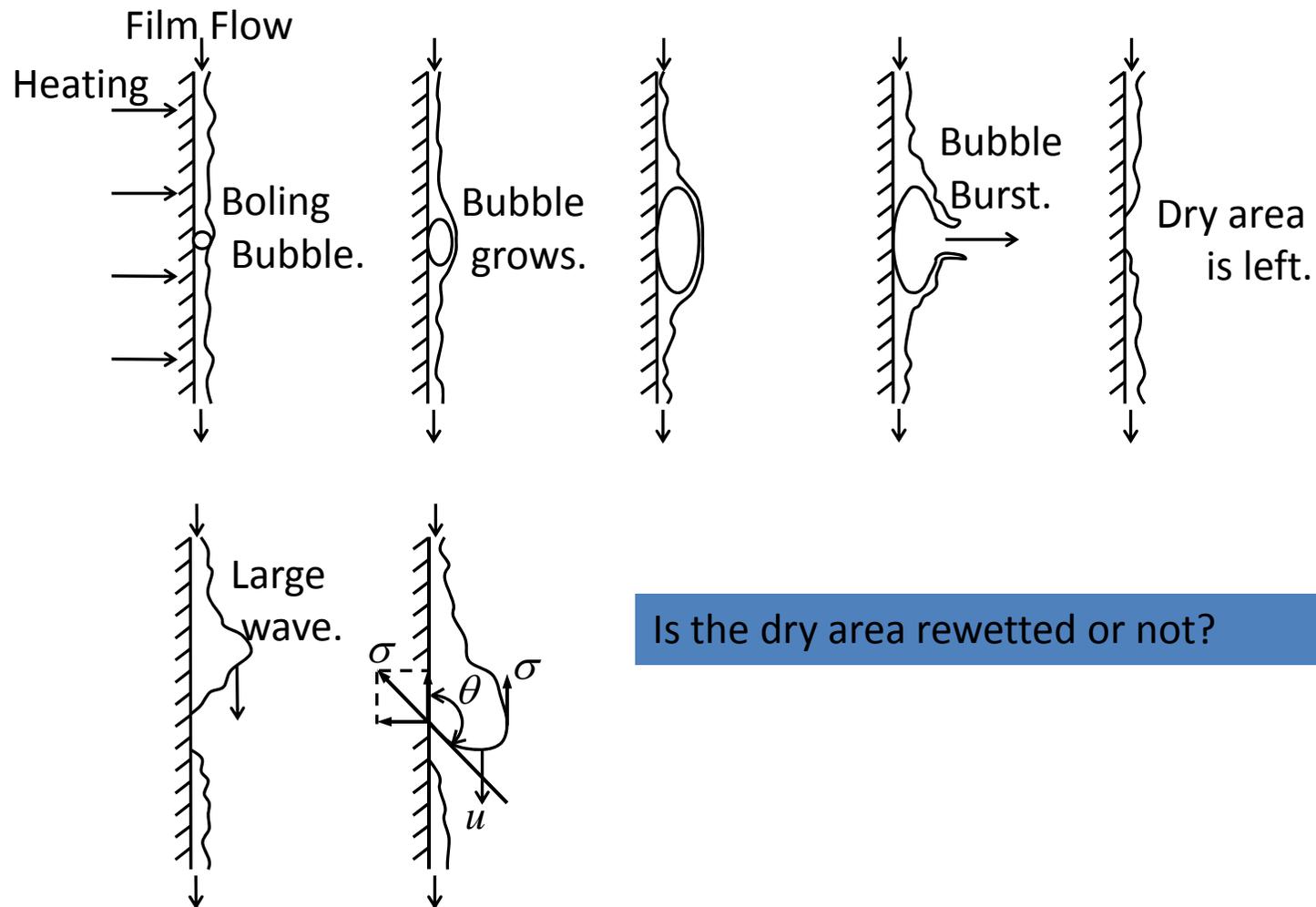


(b) Minimum Contact Angle State

## ドライアウト熱流束(限界熱流束)について

低クオリティー、また、サブクール領域を除いて、ドライアウト(限界熱流束状態)は環状流状態

### 液膜流の考え方の導入



Is the dry area rewetted or not?

係数  $c$  : 液膜流の乱れ(波)の状態に既存

$$\frac{q_{cr}/H_{lg}}{\rho_l u_{mcr}} = c \left( \frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0.08} \left( \frac{\rho_l u_{mcr}^2 L_s}{\sigma} \right)^{-0.33}$$

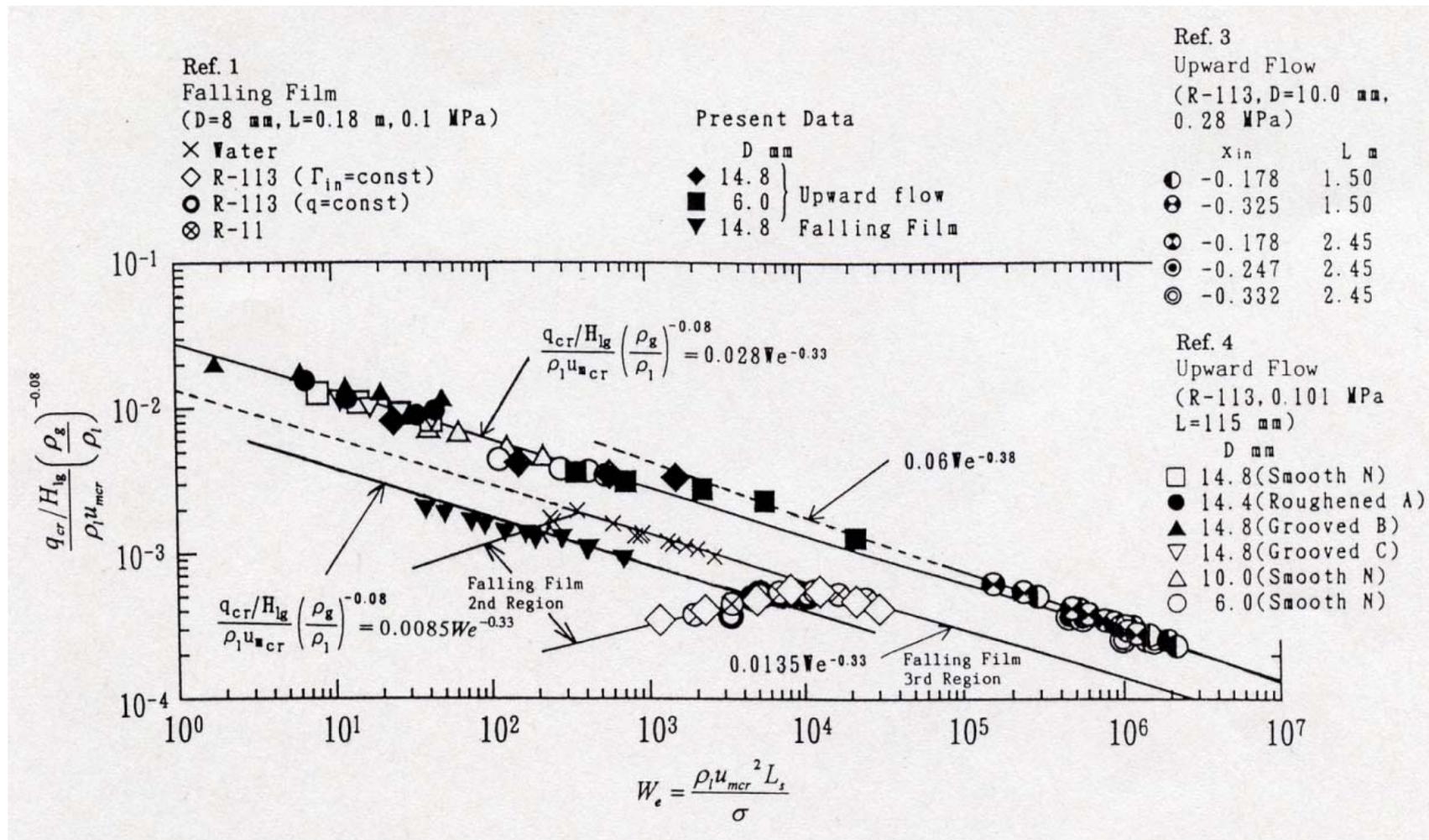
流下液膜: 比較的静定  $c$  小

上昇液膜流: 大きな乱れ、波  $c$  大

広い流動状態、流量範囲、物性で良いまとめ

$c$ について整理はできていないが、限界熱流束発生機構の明確化

液膜流の状態が決まる!



対向気液二相流における液膜挙動とフラッシング(第1報, 円管内流の場合) (共著者 鈴木新一)

対向気液二相流における液膜挙動とフラッシング(第2報, 環状流路およびロッドバンドル内の流れ) (共著者 鈴木新一)

フラッシング: 当方の終生のテーマに。

M1のとき、米国でECCS水が炉心に入らず!

アイダホ Semiscale 実験

これ、フラッシングの話!

ずっとやっていて、

垂直管内流下液膜共存R-113気液混合物の液面上昇及びフラッシング

(共著者 小泉安郎, 八木純二, 榊原智宏)

日本機械学会論文集(B) 63巻606号(1997-2), p. 616-623

今、国プロジェクトのお金を貰ってこのフラッシングを。

先日、三菱の30歳そこそこの若造に怒鳴りつけられて。

確かに資金元ですが-----。

人生は難しい。

(昨日その上司にあって、平謝りでした-----。)

そんなときに、植田先生のコーヒーを静寂の元に飲んでいる姿を思いだして、じっと静かに。