

●気液二相流の伝熱計算について、相関式を適応範囲とともに提示したハンドブック！●
従来提案されている熱伝達率、圧力損失、ボイド率など重要パラメータの相関式をできるだけ多く収録し、根拠となったデータなどの範囲を含めて提示・説明する。設計開発現場での伝熱流動計算時において、当該の式に数値を算入してすぐに活用できる、実用書籍！

気液二相流 設計計算ハンドブック

Design Handbook of Boiling Two-Phase Flow

執筆者 小澤 守 関西大学 社会安全学部 安全マネジメント学科 教授 工学博士
網 健行 関西大学 システム理工学部 機械工学科 助教 博士(工学)

主な内容

第1章では気液二相流と伝熱研究の背景および進展についての概略を説明。
第2章では本書で主として取り上げる各種特性量の定義と実現象における役割、計算モデルにおける位置づけなどについて解説。
第3章は各種相関式および実験結果などとの検証を提示する。

気液二相流の研究の概観と伝熱計算・設計開発時の手引きとなる
必携ハンドブック！

書籍概要

- ◆発行 2013年7月13日
- ◆体裁 B5判 上製本 448頁
- ◆価格 本体45,000円(+税)
国内送料弊社負担
978-4-924728-68-4 C3050
- ◆発行 テクノシステム

<http://www.techno-s.co.jp/>

【まえがきより】 熱交換器、ボイラ、各種機器における伝熱流動計算は、いわゆる伝熱工学の枠組みで従来、大学工学部における特に機械工学、化学工学分野の講義の重要な柱の一つであった。しかしながら大学カリキュラム大綱化のもとその内容もまた講義時間配分も大きく影響を受け、ここ10数年、その内容においてかなりの希薄化が進行した。また企業においても伝熱計算は設計上の重要な要素であるにも関わらず、基本的な現象やモデルの理解なしに単なるツールと化し、既存の与えられた式の適否や適用範囲に対して無配慮に使用する場合もある。

長年の研究と技術的な蓄積の上に立つ単相流、すなわち気体、液体のみの流れに対してはかなり信頼性の高い理論式あるいは乱流が関与する場合には相関式が賞用されており、大きな問題はないといって差し支えない。しかしいったん別の相が混入する、すなわち二相流、今回の場合には気液二相流の場合には、流れそのものの表現形式、すなわちモデルそのものも完全なものではなく、特に界面を通じての物理現象そのものも十分定式化されているわけではない。過去長年にわたって築かれてきた気液二相流の伝熱・流動に関する学問体系そのものもいまだ発展過程といて言い過ぎではない。その意味で、企業などにおける設計現場ではそれぞれの立場、装置などに応じて適当な、現状で大きな問題を生じていないという実績のもと、各種の相関式がそれぞれ用いられており、従来の範囲を超えてあらたに設計開発を行うおうとすると、その適用範囲において問題を生じかねない。その意味で、今までの相関式・経験式をある程度体系化し、その適用範囲を、その式が求められた元にまでさかのぼって整理して提示しておくことは、非常に重要であると考えられる。

本書はそのような観点に立って企画されたもので、まず相変化を伴う流れの全体像を提示し、そこで問題になる各種の伝熱流動問題を提示した上で、従来提案されている熱伝達率、圧力損失、ボイド率など重要パラメータの相関式を根拠となったデータなどの範囲を含めて提示し、いわば各種相関式のある一定のアセスメントを提示する。したがって現象そのものの説明は他の成書に譲るとして、ここではその概要を述べるにとどめ、主として相関式の提示ならびに相関式の説明にとどめる。

本書の企画そのものは数年前に遡るが、著者の怠慢からその執筆は遅々として進まず、編集者の皆さんには大変ご迷惑をかけた。このたび若い共著者を得て、ようやく取りまとめができるようになった。関係各位に感謝する次第である。目に鮮やかな紫陽花に囲まれて

小澤 守

《申込方法》

◎本書籍は一般書店では取扱いをしておりません。下の申込書にご記入の上、FAXをお送り下さい。
書籍と共に納品書 請求書をご送付申し上げます。また試読をご希望の方は試読希望欄にレ印をお付け下さい。

「気液二相流 設計計算ハンドブック」(7879) 申込書			
<input type="checkbox"/> 申し込み 冊		<input type="checkbox"/> 試読希望	
		年	月 日
住所 〒	TEL		
会社 団体名	FAX		
所属	役職名		
(フリガナ) 氏名(カネム)	E-mail		



株式会社テクノシステム

〒101-0054 東京都千代田区神田錦町3-16五十嵐ビル TEL. 03-3293-3105(代)

FAX. 03-3293-3874 E-Mail. info@techno-s.co.jp

目次

第1章 二相流研究と伝熱研究の進展

第2章 沸騰二相流における特性量と基本的な流動モデル

第3章 設計パラメータ

第1節 ボイド率

1. スリップ流モデル

均質流モデル

Bankoff
Armand
Czop
Winterton
Ahmad
Smith
Zivi
Fauske
Thom
Turner-Wallis
Baroczy
Lockhart-Martinelli
Chen-Spedding
Hamersma-Hart
Moussali cited by Isbin
Löscher cited by Isbin
Kütüçüglü cited by Isbin
Tandon

2. ドリフト・フラックスモデル

Zuber-Findlay

垂直上昇流

Ishii
Rouhani-Axelsson
Chexal-Lellouche

下降流

Kawanishi
Goda

3. ミニ・マイクロチャンネル

Serizawa
Kariyazaki
Kawahara
Mishima-Hibiki
Zhang

4. 大口径チャンネル

Kawanishi
Hibiki-Ishii

5. サブクール沸騰域のボイド率

Saha-Zuber
Bowring
Larsen-Tong
Rouhani-Axelsson

Maróti
Levy
Lahey
Kroeger-Zuber
Ahmad
世古口
理論計算法
簡易計算法

第2節 圧力損失

1. 圧力損失の基礎式

質量保存式
運動量保存式

2. 位置損失(重力項)

单相流の重力項

気液二相流の重力項
均質流モデル
その他

3. 加速損失(加速項)

気液二相流の加速損失
均質流モデル
分離流モデル

4. 摩擦損失(摩擦項)－单相流

4.1 单相流の摩擦損失

4.2 管摩擦係数

層流

乱流

Blasius
McAdams
Bhatti-Shah
Nikuradse
Drew
Prandtl
Colebrook
Filonenko
Techo

らせん管

Ito
Manlapz-Churchill
White
Adler
Prandtl
Schmidt
Hart
Srinivasan
Ruffel
Xin
Guo
Ju
Mishra-Gupta

層流－乱流遷移(らせん管)

Srinivasan
Ito

5. 摩擦損失(摩擦項)－二相流

5.1 気液二相流の摩擦損失

5.2 二相摩擦乗数

均質流モデル
均質流モデル
McAdams
Cicchitti
Dukler
Beattie-Whalley
Storek-Braue
井上－青木
Friedel

分離流モデル
Lockhart-Martinelli 相関
Chisholm

らせん管

赤川
Únal
Award
Xin (1996)
Xin (1997)
Chen
Guo
Zhao
Bi

ミニ・マイクロチャンネル

Mishima-Hibiki
Zhang-Hibiki-Mishima
English-Kandlikar
Kawahara
Lee-Lee
Zhang-Webb
Lin
Yu
Lee-Mudawar
Qu-Mudawar

6. 飽和水が流入する蒸発管の圧力損失

Martinelli-Nelson 相関
Thom 相関

第3節 熱伝達率

1. 单相熱伝達

Dittus-Boelter
Colburn
Drexel-McAdams
Sieder-Tate
Prandtl
Friend-Metzner
Webb
Petukhov-Porov
von Kármán
Sandall
Gnielinski
Hausen

2. プール沸騰熱伝達

核沸騰熱伝達
Kutateladze
Rohsenow
Forster-Zuber
Cooper
Labuntsov
Kruzhilin
Stephan-Abdelsalam
Nishikawa-Yamagata

Borishanski
Gorenflo- Kenning

3. 強制流動沸騰熱伝達 (サブクール沸騰および 低クオリティ条件)

部分核沸騰域
Clark-Rohsenow
Bergles-Rohsenow

発達した核沸騰域
McAdams
Jens-Lottes
Thom
Steiner

4. 強制流動沸騰熱伝達 (高クオリティ条件)

強制対流蒸発域
Butterworth

核沸騰域および強制対流蒸発域
Schrock-Grossman Type
Chen Type
Chen
Zhang
Saitoh
Bertsch
Lee-Lee
Warrier
Liu-Winterton
Steiner-Taborek
Yoon (CO₂を対象とした
Liu-Wintertonの相関式の改良)
Thome-Hajal (CO₂の場合)
Cheng-Ribatski-Thome (CO₂の場合)
Shah
Kandlikar- Balasubramanian
Gungor-Winterton
Lazarek-Black
Tran
Yu
Lee-Mudawar

5. ポストドライアウト熱伝達

Dougal-Rohsenow
Polomik
Milopolski
Vijayarangan
Bishop
Groeneveld
Unal-Van Gasselt
老固-白羽
Groeneveld (Look-up table)
表3.3.14 Groeneveldによる
ポストドライアウト熱伝達の
Look-up table (作動流体：水)

第4節 限界熱流束

1. 伝熱様式線図

プール沸騰曲線(抜山曲線)
Collier-Thome
Semeria-Hewitt
Chang-Lee-Groeneveld

2. プール沸騰限界熱流束

飽和液

Zuber
Kutateladze
Lienhard-Dhir
Haramura-Katto
水平に設置された無限平板の
プール沸騰 CHF
水平に設置された無限に長い
円管のプール沸騰 CHF

サブクール液
Kutateladze
Ivey-Morris

3. 強制流動沸騰限界熱流束 (低クオリティ域のDNB)

Gunther
Knoebel
Westinghouse
Tong (1968)
Tong (1969)
Tong modified by ENEA
Tong modified by Inasaka-Nariai
Avksentyuk
Levy
Hall-Mudawar
出口条件
入口条件
Caria
Weisman-Pei
Lee-Mudawar
Katto

4. 強制流動沸騰限界熱流束 (高クオリティ域のドライアウト)

垂直上昇液
熱平衡クオリティ一定条件
Macbeth
低流速域
(かつ $p=0.1\sim 13.8$ [MPa])
高流速域
Biasi
Bowring
Shah
上流条件相関式(UCC)
局所条件相関式(LCC)
UCCとLCCの選択

Katto-Ohno
CISE-4
Zhang
液膜流モデル
環状流の質量保存則
ドライアウト条件
Total dryout condition
Govan
Ueda-Isayama
CHF Look-Up Table
予測方法
Groeneveld (1986)
Groeneveld (1996)
Doroschuck
Biasi
Becker
Macbeth
Mudawar
Wong
Boltenko-Kirillov
局所条件に基づくCHF予測
入口条件に基づくCHF予測
表3.4.10 Groeneveldによる
限界熱流束のLook-up table
(作動流体：水)

5. 様々な系における限界熱流束

フラッディング
Wallis
Nejat
Park
Tien-Chung
Imura
数土
円形流路の場合
矩形流路の場合
環状流路の場合
Mishima
Oh

傾斜上昇流
Dimmick
François
Kefer
森
垂直管
水平管
傾斜管

水平流
Merilo
Wong

マイクロチャンネル
McGillis-Carey-Strom
Ou-Mudawa
Wojtan-Revelin-Thome

環状流路
Mishima
Barnett
Doerffer
Janssen-Kervinen
Chang-Yao
El-Genk-Haynes-Kim
Monde-Mitsutake-Hayasi
Kim-Baek-Chang
Chun-Chung-Moon
Lee-Bang-Chang
Xu
Bowring

らせん管
Jensen-Bergles
サブクール沸騰の場合
飽和沸騰の場合
Berthoud-Jayanti
らせん管におけるドライアウト
発生要因
初期ドライアウトクオリティ
完全ドライアウトクオリティ
Unal
Alad' yev
加治
渡辺

軸方向非均一加熱

周方向非均一加熱
Butterworth
網

第5節 流動様式

1. 上昇流

Ishii
Griffith-Wallis

Hewitt-Roberts
Golan-Stenning

気泡流からスラグ流への遷移
スラグ流からフロス流への遷移
フロス流から環状流への遷移

Taitel-Bornea-Dukler

気泡流からスラグ流への遷移
気泡流から分散気泡流への遷移
分散気泡流からスラグ流あるいは
チェーン流への遷移
スラグ流からチェーン流への遷移
チェーン流から環状流への遷移

Weisman-Kang

気泡流から間欠流への遷移
間欠流から環状流への遷移
分散流への遷移

Mishima-Ishii

気泡流からスラグ流への遷移
スラグ流からチェーン流への場合
チェーン流から環状流への遷移
(a)大気泡に沿う液膜部の逆流
(b)液スラグの崩壊あるいは
液滴飛散を伴う大きな波

RELAP5-3D

2. 下降流

Barnea-Shoham-Taitel

環状流からスラグ流への遷移
スラグ流から分散気泡流への遷移

Usui

気泡流からスラグ流への遷移
スラグ流から環状液滴流への遷移
流下液膜流からスラグ流への遷移
流下液膜流から環状液滴流への遷移

3. 水平流

Baker

Mandhane-Gregory-Aziz

プラグ流からスラグ流, そして
層状流から波状流への遷移
スラグ流から環状噴霧流,
波状流から環状噴霧流への遷移
プラグ流およびスラグ流から
分散気泡流への遷移
層状流からプラグ流への遷移
波状流からスラグ流への遷移

Taitel-Dukler

層状流から間欠流もしくは
環状噴霧流への遷移
間欠流から環状噴霧流への遷移
層状流から層状波状流への遷移
間欠流から分散気泡流への遷移

Weisman

層状流から間欠流への遷移
環状流への遷移
分散流への遷移
波状流から層状流への遷移

Kattan-Thome-Favrat

層状流領域
波状流領域
噴霧流領域
気泡流領域
間欠流の境界

Wojtan-Ursenbacher-Thome

層状流領域
波状流領域
間欠流から環状流への遷移
環状流からドライアウトへの遷移
ドライアウトから噴霧流への遷移

Cheng-Ribatski-Quibén-Thome

波状流領域
層状流領域
間欠流から環状流への遷移

環状流からドライアウトへの遷移
ドライアウトから噴霧流への遷移
間欠流から気泡流への遷移

4. ミニ・マイクロチャンネル

Triplett

Kawahara-Chung- Kawaji

Revellin-Thome

孤立気泡流から合体気泡流への遷移
合体気泡流から環状流への遷移
環状流からドライアウトへの遷移

Akbar-Plummer-Ghiaasiaan

気泡, プラグ/スラグ流
(表面張力支配領域)
環状流(慣性力支配領域1)
分散流(慣性力支配領域2)

Ullmann-Brauner

気泡流からプラグ流への遷移
分散気泡流への遷移
チェーン流への遷移
砲弾型気泡への遷移
環状流への遷移

5. 気泡流

単一気泡形状と終端速度

抵抗係数(標準抗力係数曲線)
Clift-Grace-Weber

気泡上昇速度

Peebles-Garber

6. スラグ流

支配要因

上昇流

静止液中の気泡速度

Wallis

スラグ流中の気泡速度

Griffith-Wallis

Nicklin

赤川・坂口

水平流

Weber

7. 環状流

平均液膜厚さ

層流液膜

Nusselt

Kapitza

乱流液膜

von Kármán(一般速度分布)

Brötz

Brauer

Feind

界面摩擦係数

Wallis

Moeck

Fukano-Furukawa

堀

Fore

液滴発生限界

Zhivaikin

Chien-Ibele

Kutateladze

Wallis

Ishii-Grolmes

液滴飛散率・液滴付着率

Paleev-Filippovich

Ishii-Mishima

Govan

Sugawara

植田

Okawa(2003)

Okawa(2004)

Kataoka-Ishii-Nakayama

Sawant-Ishii-Mori

Cioncolini-Thome

フラッキング

Dukler-Smith

Wallis

Hewitt-Wallis

Clift-Pritchard-Nedderman

Tobilevich- Sagan-Porzhezhiskii

Pushkina-Sorokin

Alekseev-Poberezkin-Gerasimov

McQuillan-Whalley

Tien-Chung-Liu

Kamei-Oishi-Okase

English

Machej-Sokol

Zapke-Kröger

Mouza-Pantzali-Paras

Imura-Kusada-Funatsu

Bharathan-Wallis-Richter

Richter

第6節 不安定流動

1. 発生機構による分類

2. Ledinegg不安定流動

3. 流れ逸走

4. 不均等流量分配

5. 圧力降下振動

6. 密度波振動

密度波振動安定判別法

Ishii-Zuber

Nakanishi

Hirayama

付録 物性値表

1. 各種気体の熱物性値

各種気体の臨界値

各種流体の飽和物性

水の飽和蒸気表(温度基準)

水の飽和蒸気表(圧力基準)

圧縮水および過熱蒸気の熱力学的性質

2. 単位換算表

索引

式索引

用語索引