

応用伝熱学 序論

本講義受講の為の基礎知識

熱力学

流れ学、輸送現象論

流体力学

熱の移動の最も基本的なメカニズム

熱伝導、対流(強制対流、自然対流)、輻射

本講義の背景

実際の工学上の伝熱装置

熱の移動は伝導、対流、輻射のメカニズム

これらが複合した複雑な伝熱の形態

相変化、非定常、複雑な幾何学的形状

本講義の背景

相変化を伴う熱伝達

沸騰、凝縮、融解、凝固、昇華

相変化の際の物質の内部エネルギーの変化

潜熱を利用 - - - 良好な熱伝達特性

特に沸騰、凝縮は古くから利用される

ボイラー、原子炉、冷凍機、金属の冷却等

本講義の背景

非定常熱伝達

伝熱機器の起動、停止時、異常時に重要

過渡的な熱伝導 - - - 定常熱伝達に比べて良好な熱伝達

複雑な幾何学的形状での熱伝達

熱交換器 - - - 最も重要な応用例

相変化を伴う場合と伴わない場合

形状、流動様式によって伝熱効率が大きく異なる
- - - 伝熱装置の設計に重要

本講義の目的

相変化を伴う熱伝達、非定常熱伝達

その基本的な物理メカニズムの理解

装置設計に必要な相関式、解析方法の修得

熱交換器

実用に供せられている代表的な熱交換器についてその特性、解析方法の修得

参考文献

「伝熱工学資料」日本機械学会

「伝熱ハンドブック」日本機械学会

「伝熱概論」甲藤吉郎著、養賢堂

「気液二相流」植田辰洋著、養賢堂

講義の予定

10回～13回

相変化を伴う熱伝達

プール沸騰熱伝達(2回～3回)

強制対流沸騰熱伝達(気液二相流の流動と熱伝達を含む)(2回～3回)

凝縮熱伝達(2回～3回)

熱交換器(2回)

非定常熱伝達(1回～2回)

成績評価

定期試験

定期試験期間中

筆記試験として行う

参考文献、資料の持ち込み不可

講義の内容に基づいた問題を5～7題程度

伝熱流動現象

学術、産業において重要な現象

工学(機械工学)、理学、医学、農学等

人間が日常的に接している現象

気象、環境問題、調理

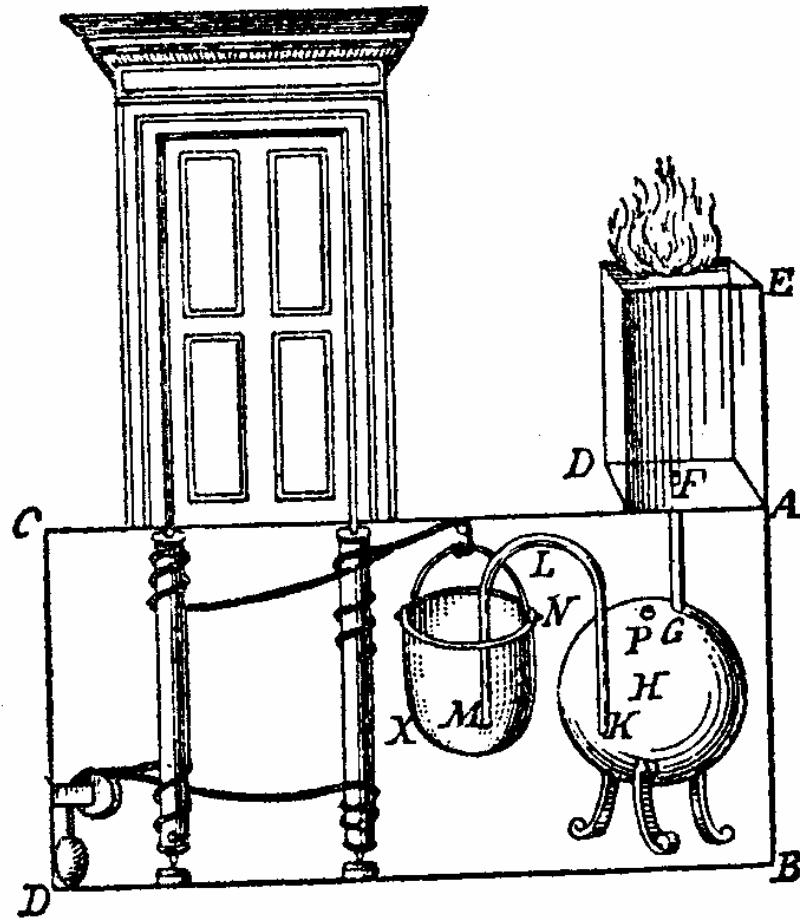
人間生活に関わり合いの深い現象

この現象を巧みに用いて様々な装置や器具

必ずしも原理や理論は必要ではない

Heronの自動ドア

(アレキサンドリア、紀元前2世紀)



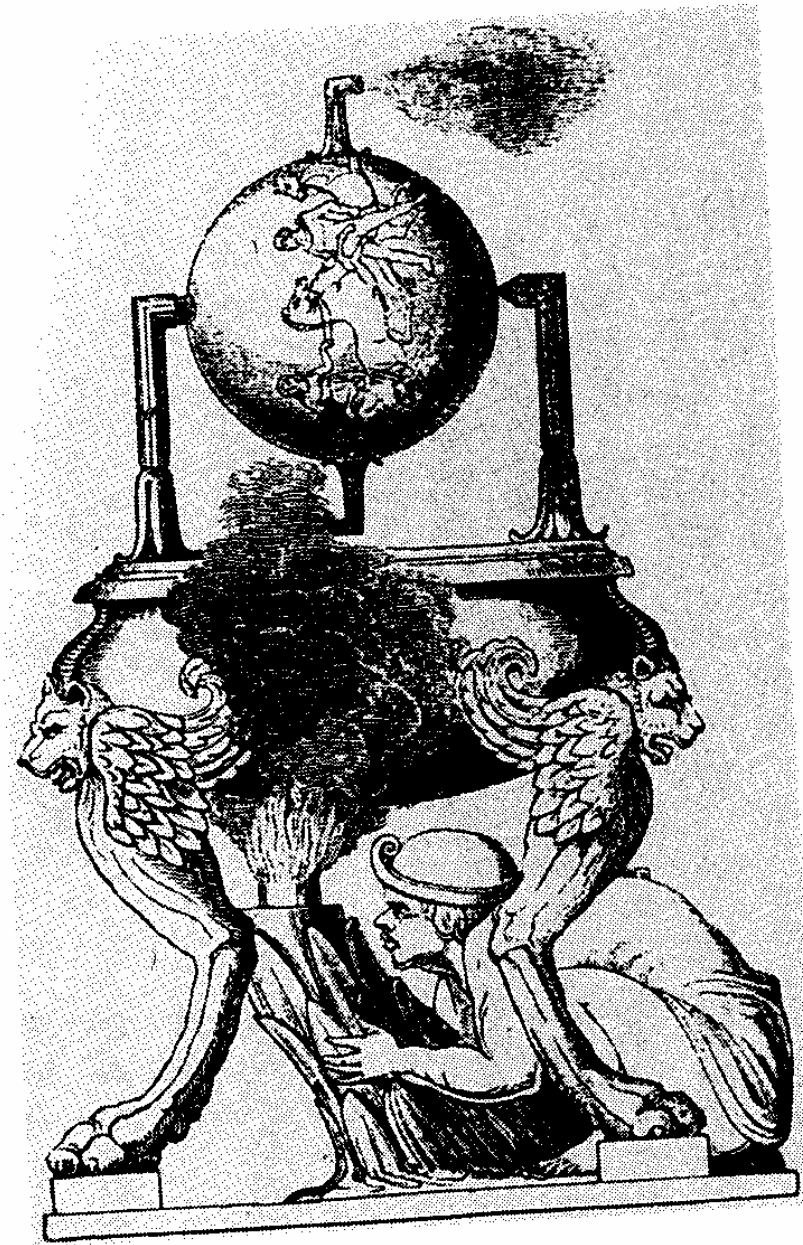
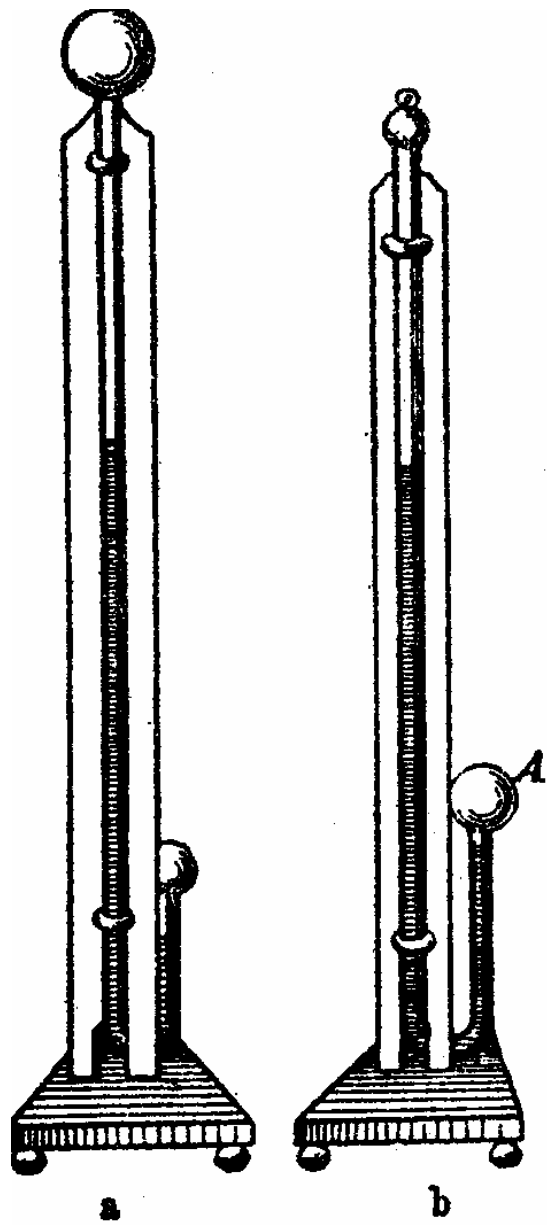


図2 ヒーローの回転球 (紀元前 120)⁽⁹⁾



ふきこぼれない麺のゆで方



意外な原因で砂鉄を
吹き飛ばした実験の様子

鍋の吹きこぼれ

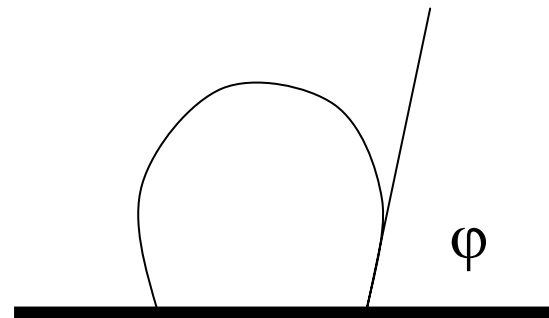
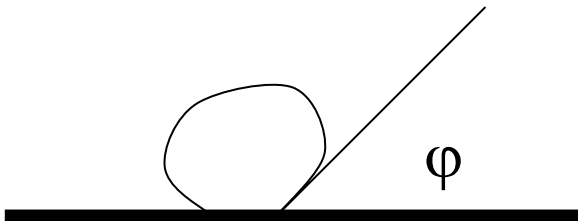


気泡の発生と接触角

Fritzの式

$$d_B = 0.0148\varphi \sqrt{\frac{2\sigma}{g(\rho_L - \rho_G)}}$$

φ : 接触角



蒸気機関と産業革命

伝熱流動現象の産業への本格的適用

ニューコメンの蒸気機関 1712年 熱効率0.5%

ワットの特許(火力機関の燃料消費軽減) 1769年

ワットの蒸気機関 1788年 熱効率4%

コルニッシュボイラー 1802年

トレビシックの蒸気機関車 1804年

フルトンの蒸気船 1807年

蒸気機関と伝熱流動の理論

熱力学、流体力学、伝熱学の理論が完成していたわけではない

経験、直感、試行錯誤

理論的な枠組みは後になって完成

カルノーサイクル 1824年

マイヤー(エネルギー保存則) 1842年

ランキンサイクル 1859年

装置の改良と高度化には大いに寄与した

伝熱流動現象と現代の科学技術

エネルギー機器

超高压ボイラー、原子炉、ガスタービン

動力機器

自動車、ジェット機、ロケット

大容量、高機能

開発、設計、安全性において、伝熱流動現象について正確な予測技術が必要

伝熱流動現象と現代の科学技術

電子機器の冷却、宇宙空間での機器の冷却

新たな伝熱流動現象の知見が必要

ミクロな領域、無重力下における伝熱流動現象

医学分野

透析、血液の検査、種々のバイオ計測

地球環境の保全

大気汚染、水質改善

資源の開発

油田の開発、海底鉱物の採取

伝熱流動現象の研究

現在の科学技術の基盤技術として

幅広い実験と解析

現象の理解

系統的な理論の構築

コンピュータの飛躍的な発展

数値シミュレーションによる予測手法の開発

様々な機器の設計、安全性、性能向上に不可欠

伝熱流動現象

多岐にわたる現象

気体、液体、固体

熱伝導、対流、輻射、

相変化、化学変化

時間的にも、空間的にも様々なスケール

単一の相での現象

理論的な解明が進む

二つ以上の相での現象(混相流)

未解明の部分が多く、統一的な理論が未確立

相変化を伴う流動と伝熱の応用例

実際の機器に应用されている場合が多い

ボイラー、原子炉

エアコン、電子機器の冷却

環境伝熱、資源、土木工事

ロケット、天然ガス気化

流動の形態としては

管内、管外

沸騰、凝縮、二成分二相流

自由噴流 等

ボイラー

沸騰伝熱の応用として最も基本的

水管ボイラー、煙管ボイラー

自然循環、強制循環、貫流

自然循環ではボイド率が流動の駆動力

沸騰二相流の流動と熱伝達が、装置の特性
を決める最も重要なパラメータ

高熱負荷ボイラーでは限界熱流束が重要な
設計パラメータ

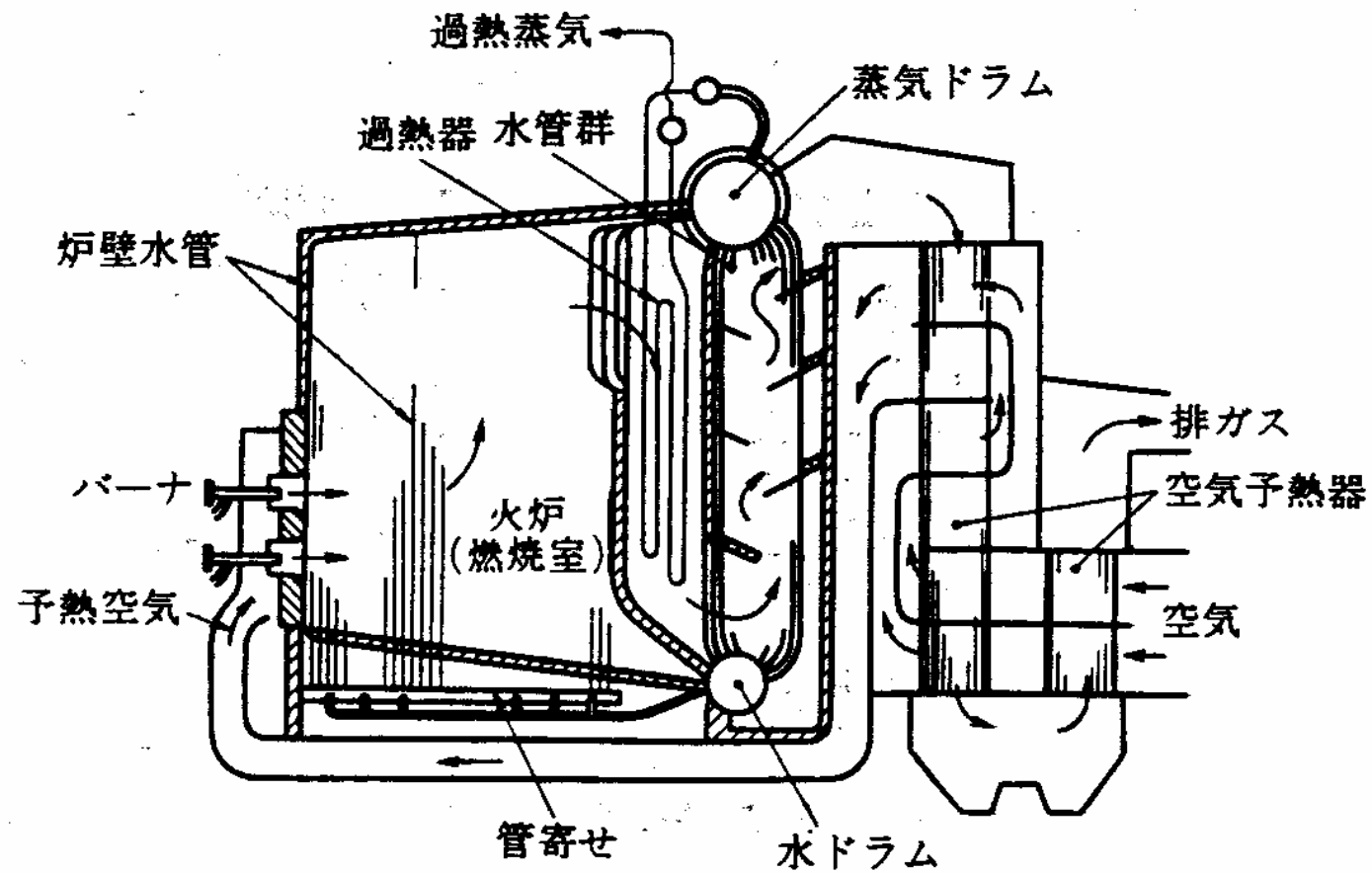
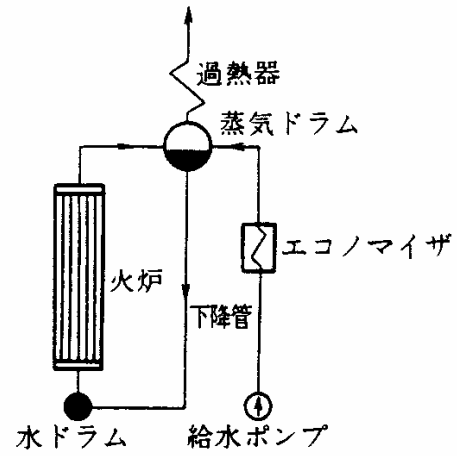
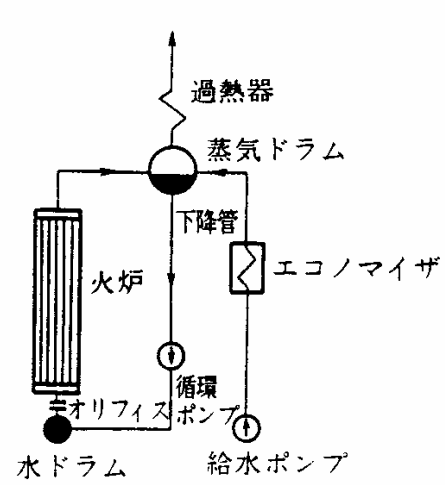


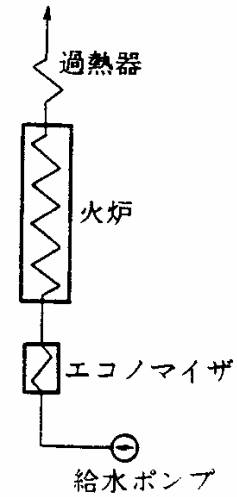
図 1 水管ボイラ (自然循環式)



(a) 自然循環ボイラ



(b) 強制循環ボイラ



(c) 貫流ボイラ

図 2 水管ボイラの水循環方式

(1) 平川鉄工所 MP 800 形ボイラ。

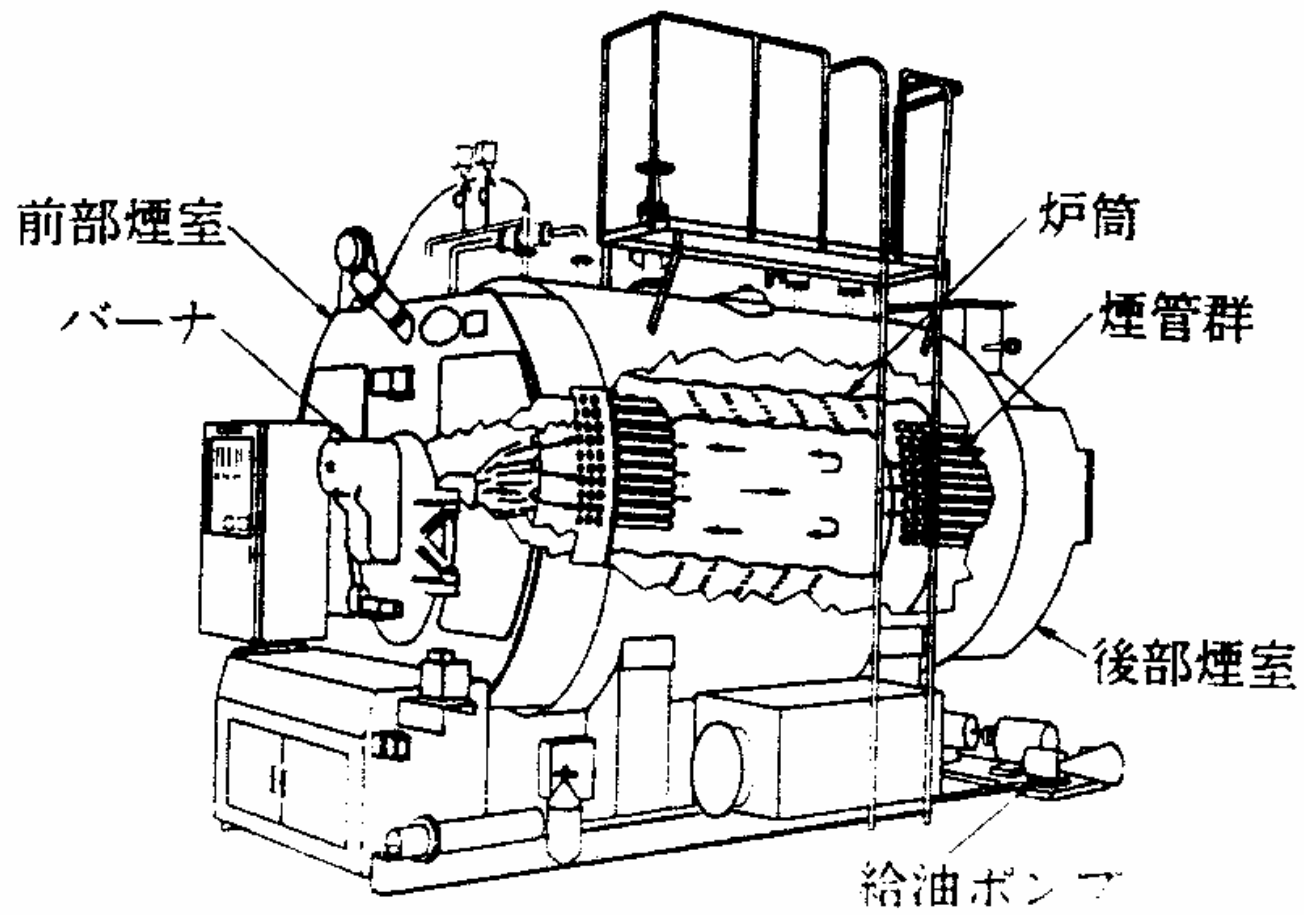


図 3 炉筒煙管ボイラ

原子炉

一種のボイラーと見なせる

沸騰水型原子炉 (B W R)

直接水を沸騰させ発電機を回す

7 M P a、燃料集合体中で気液二相流

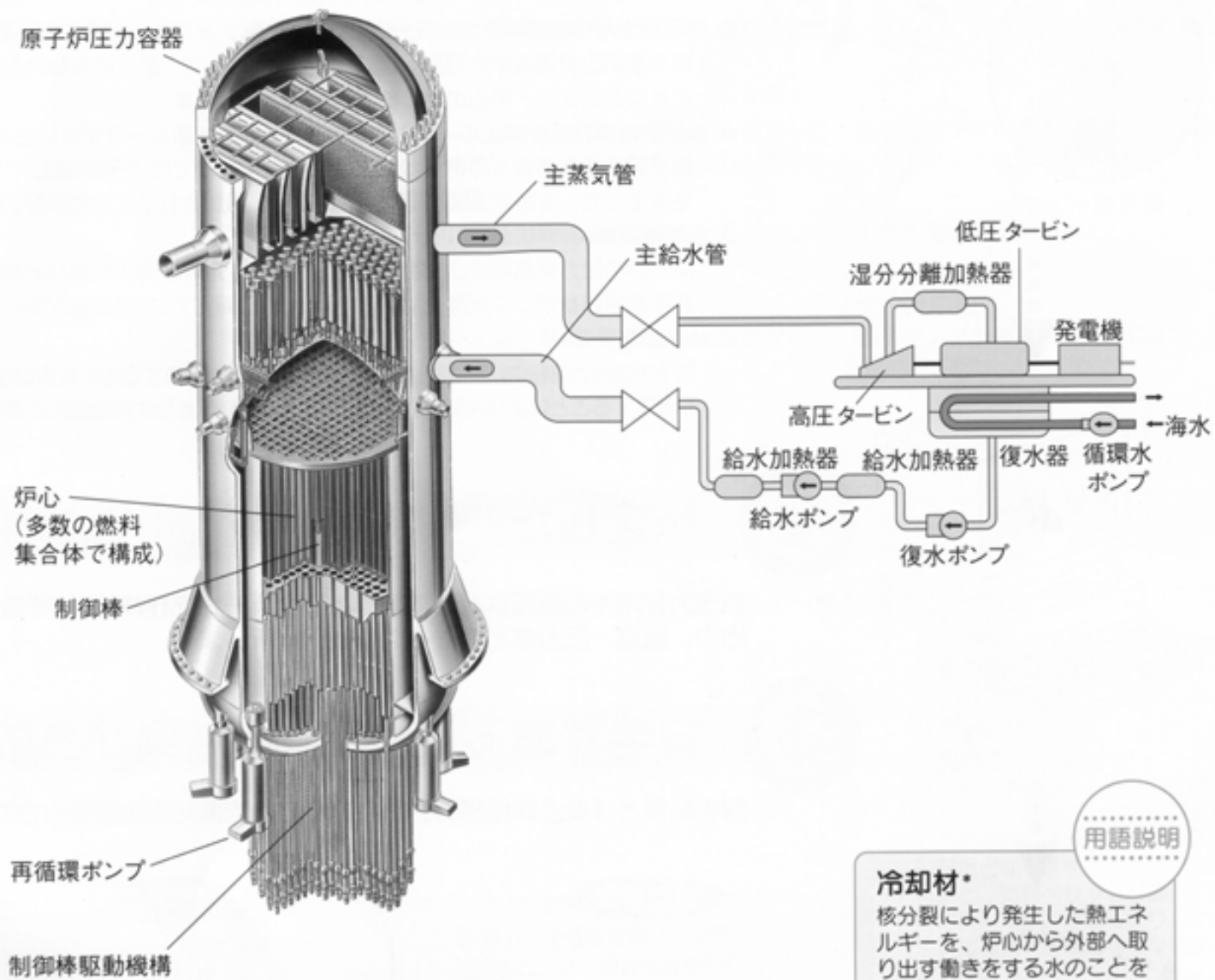
加圧水型原子炉 (P W R)

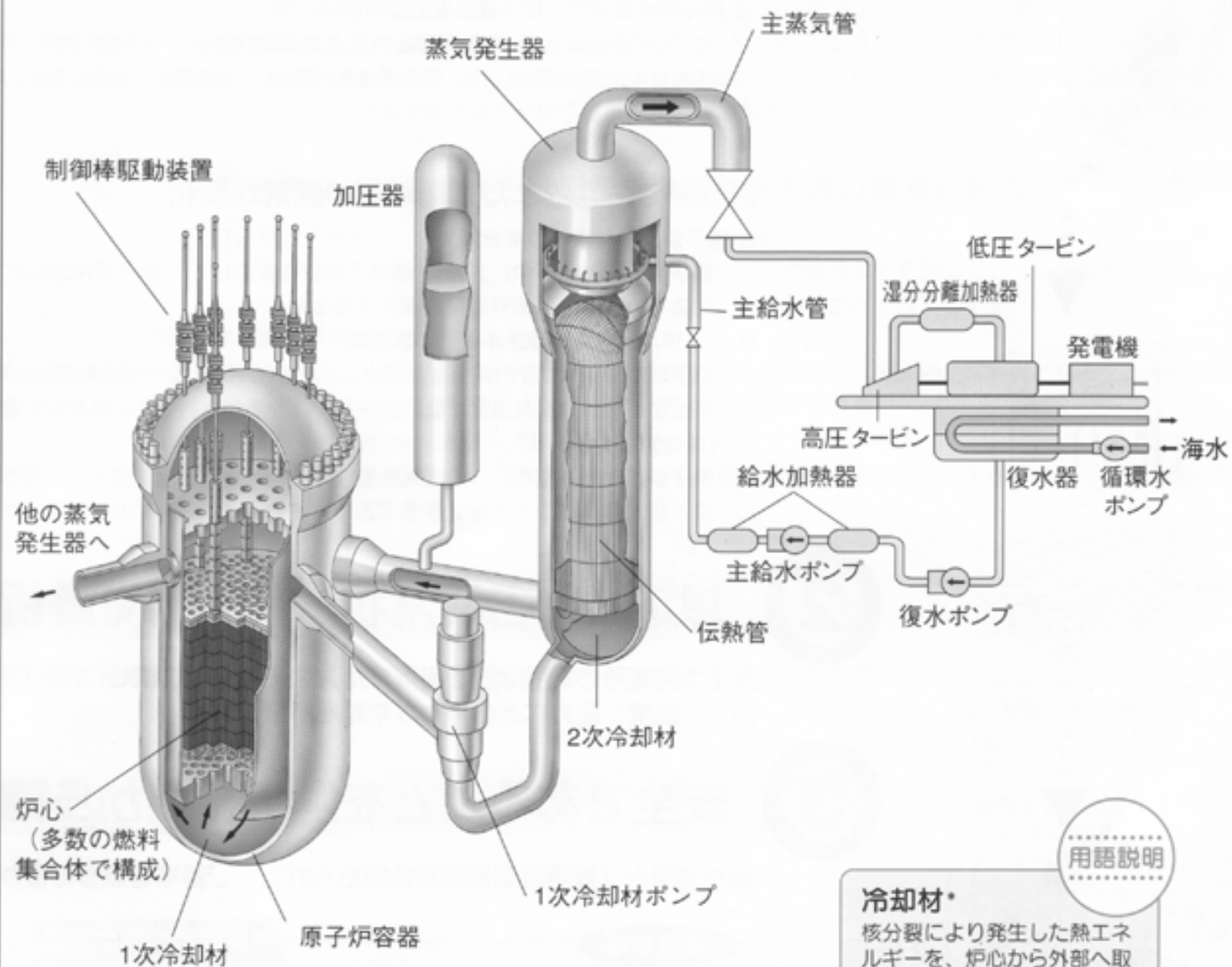
蒸気発生器で蒸気を作る

管外沸騰二相流

1 4 M P a

相変化を伴う伝熱流動挙動は、設計、事故時の安全対策に重要



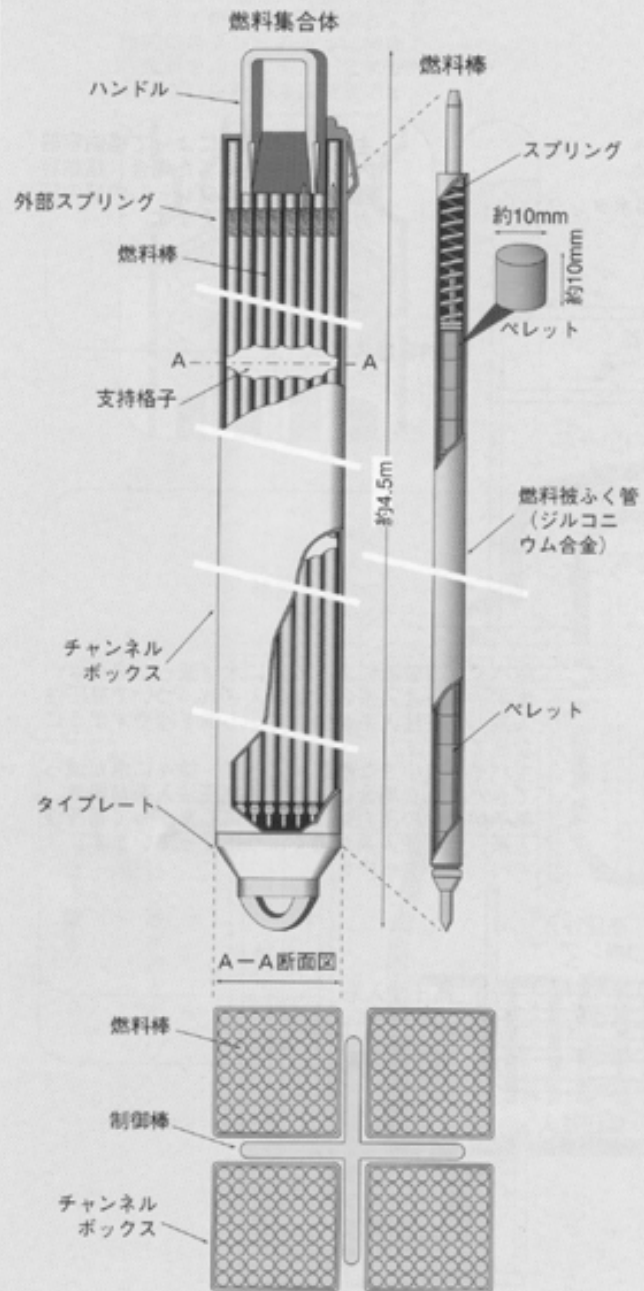


用語説明

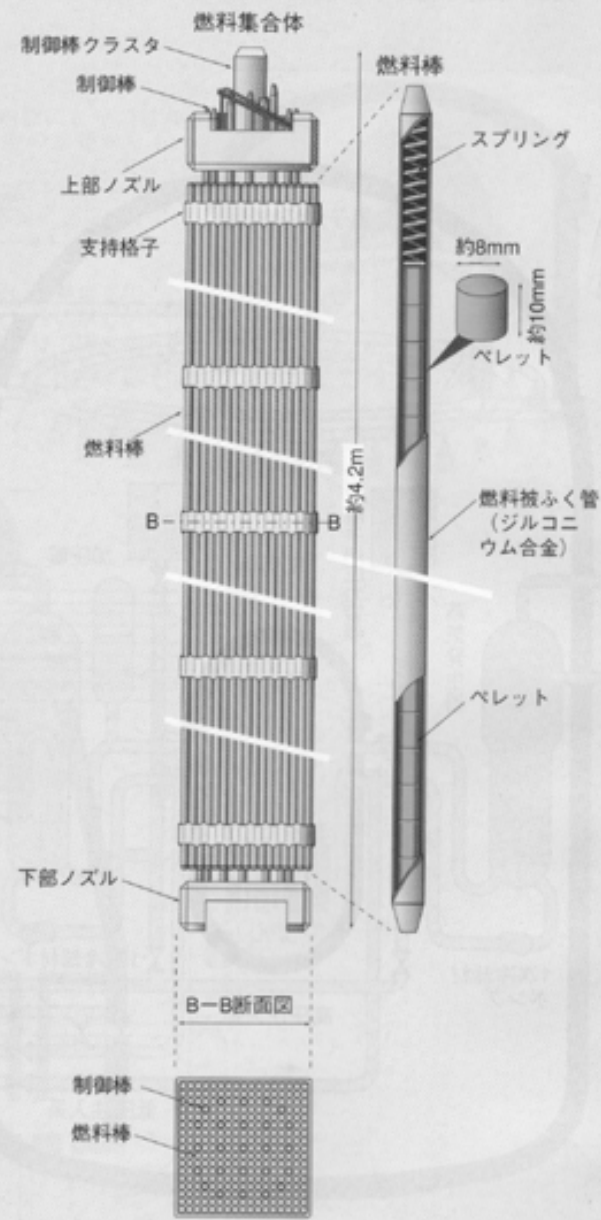
冷却材*

核分裂により発生した熱エネルギーを、炉心から外部へ取り出す働きをする水のことを冷却材といいます。

BWR



PWR



復水器

発電ボイラや原子炉では発生した蒸気で蒸気タービンを回したのちそれを凝縮させて水にして、再びボイラー原子炉に給水する。

大規模な凝縮装置(復水器)が必要

海水、空冷(クーリングタワー)により凝縮させる。

管外凝縮

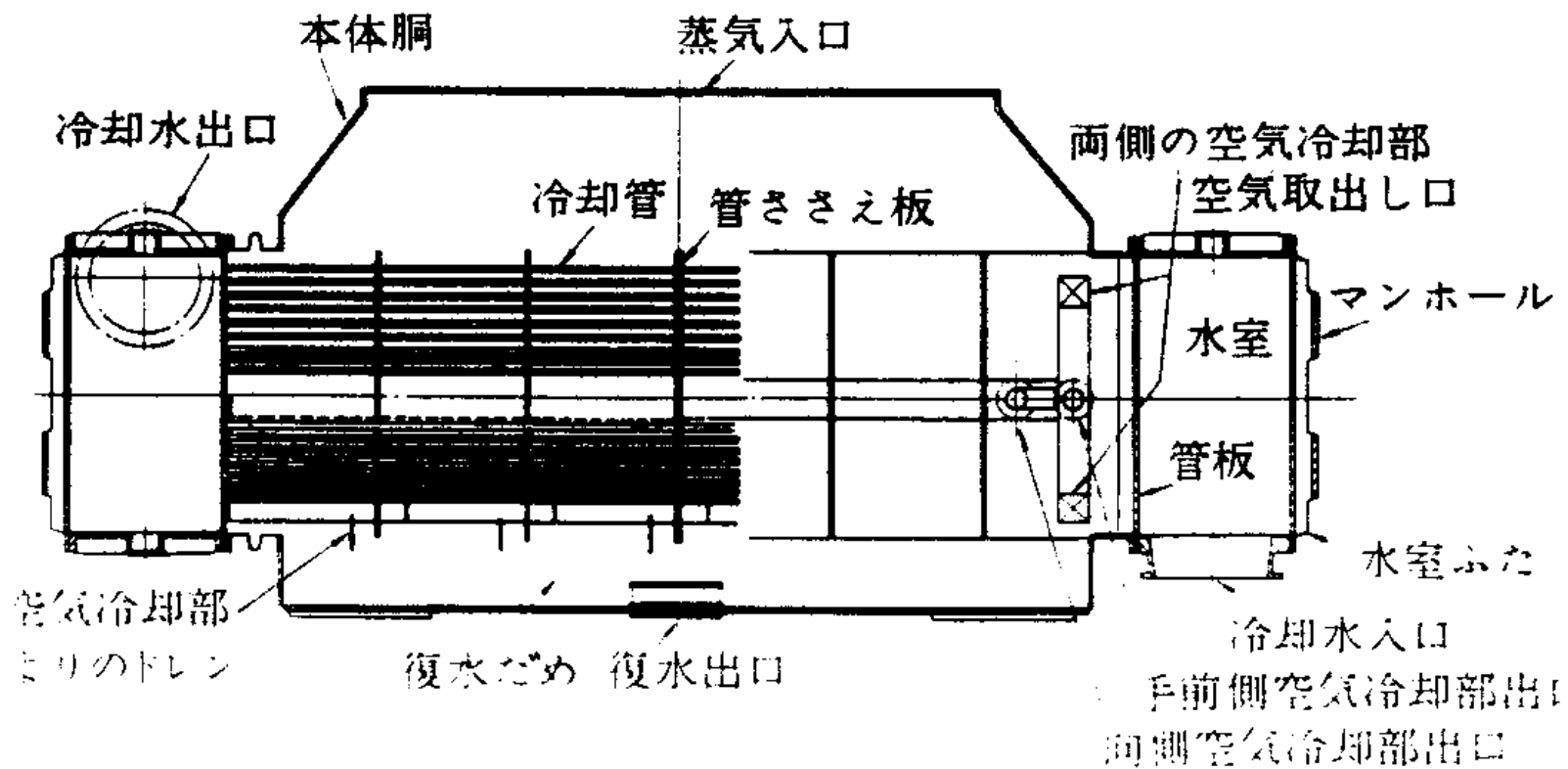


図 186 復水器の構造

天然ガス気化装置

大量の液化天然ガスをタンカーで輸送

液化ガスを気化して供給

オープンラック蒸発器 (ORV)

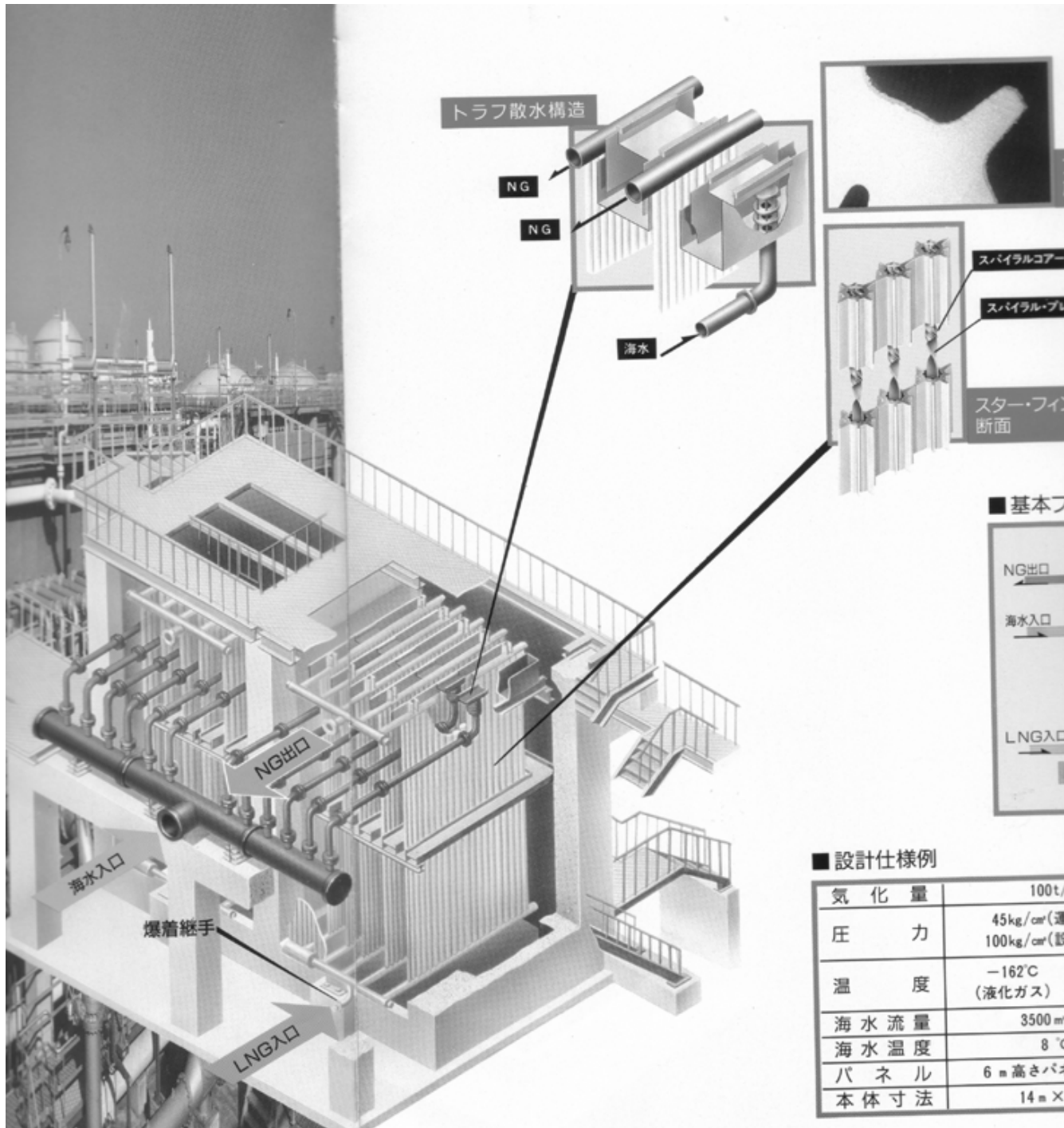
海水を用いて気化する。通常の負荷に対応

サブマージド燃焼蒸発器 (SMV)

燃料ガスを水中で燃焼させその熱で気化。

急速な負荷の上昇に対応。

管内、管外の沸騰二相流、海水の凍結等複雑な伝熱流動現象の応用



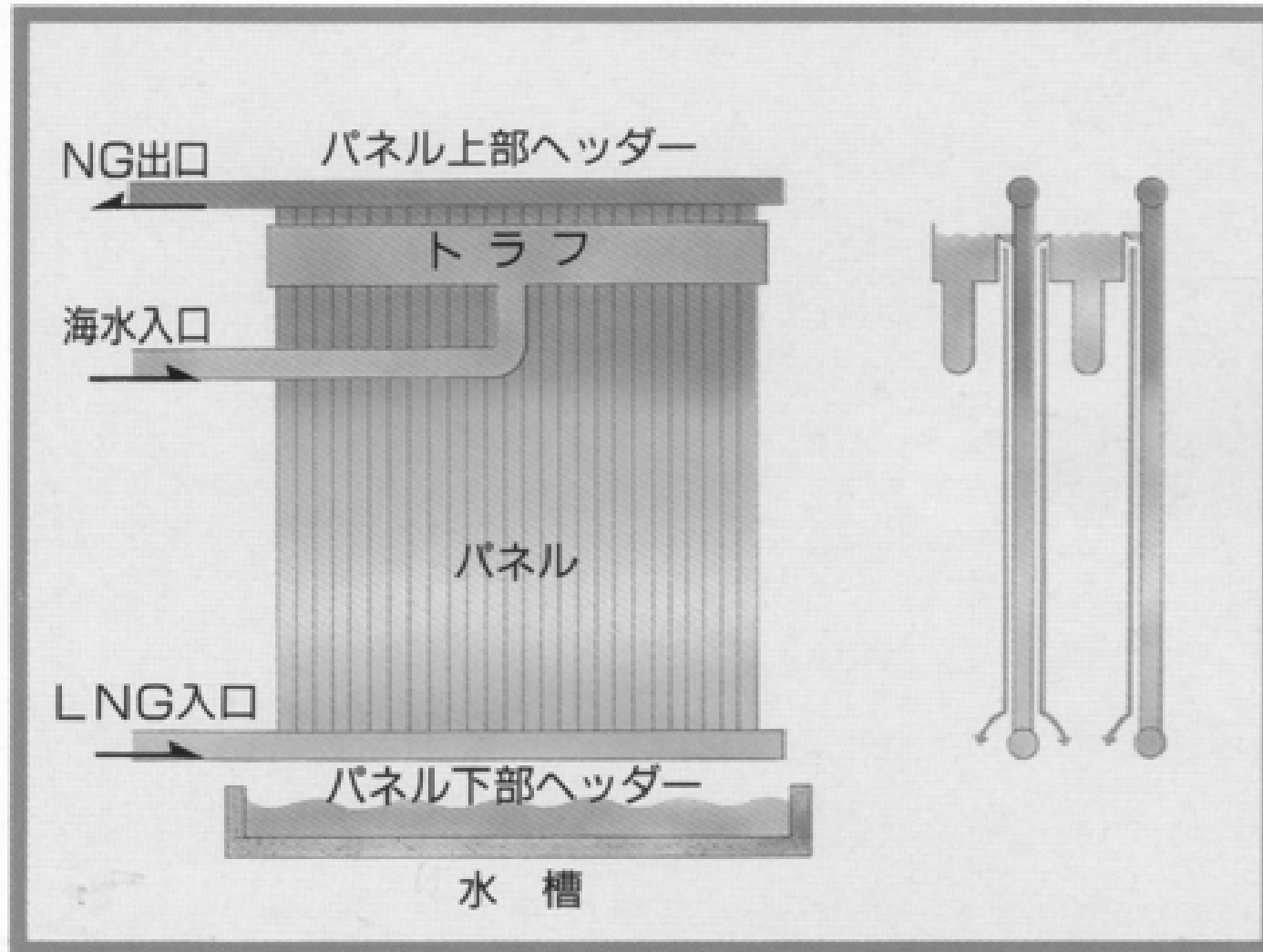
■ 基本フ

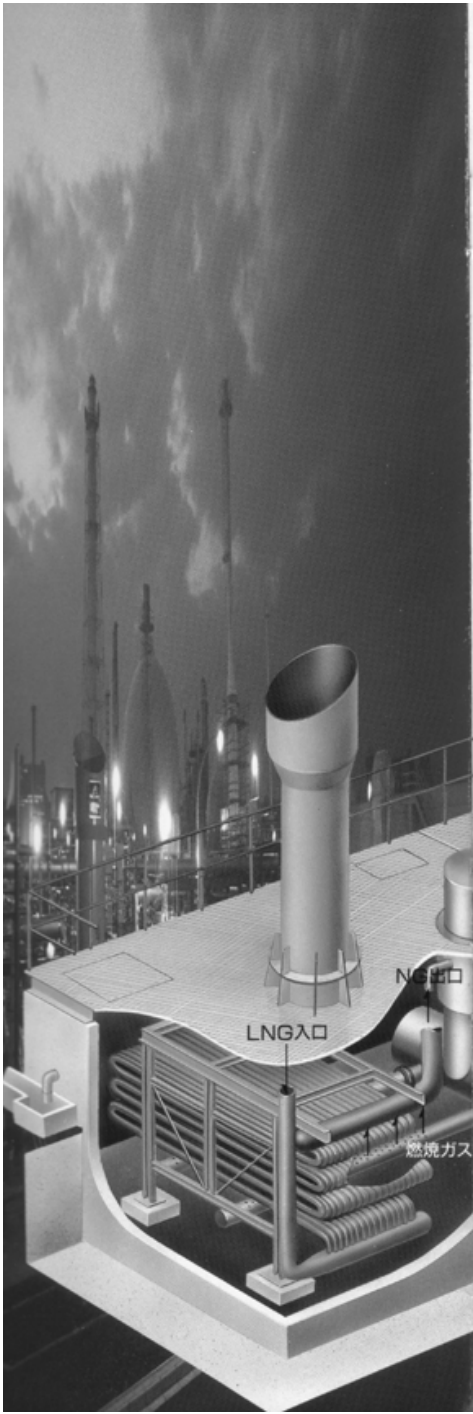


■ 設計仕様例

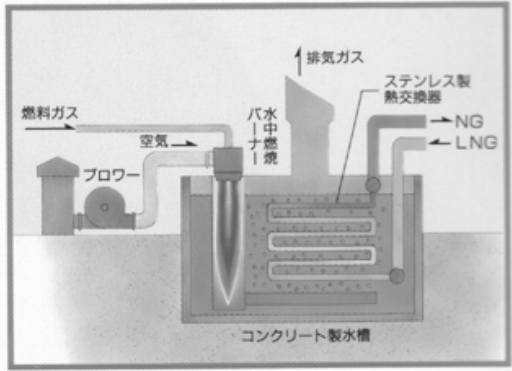
気化量	100t/h
圧力	45kg/cm ² (運) 100kg/cm ² (設)
温度	-162℃ (液化ガス)
海水流量	3500m ³ /h
海水温度	8℃
パネル	6m高さパネル
本体寸法	14m × 7m

■ 基本フロー





■ 基本フロー

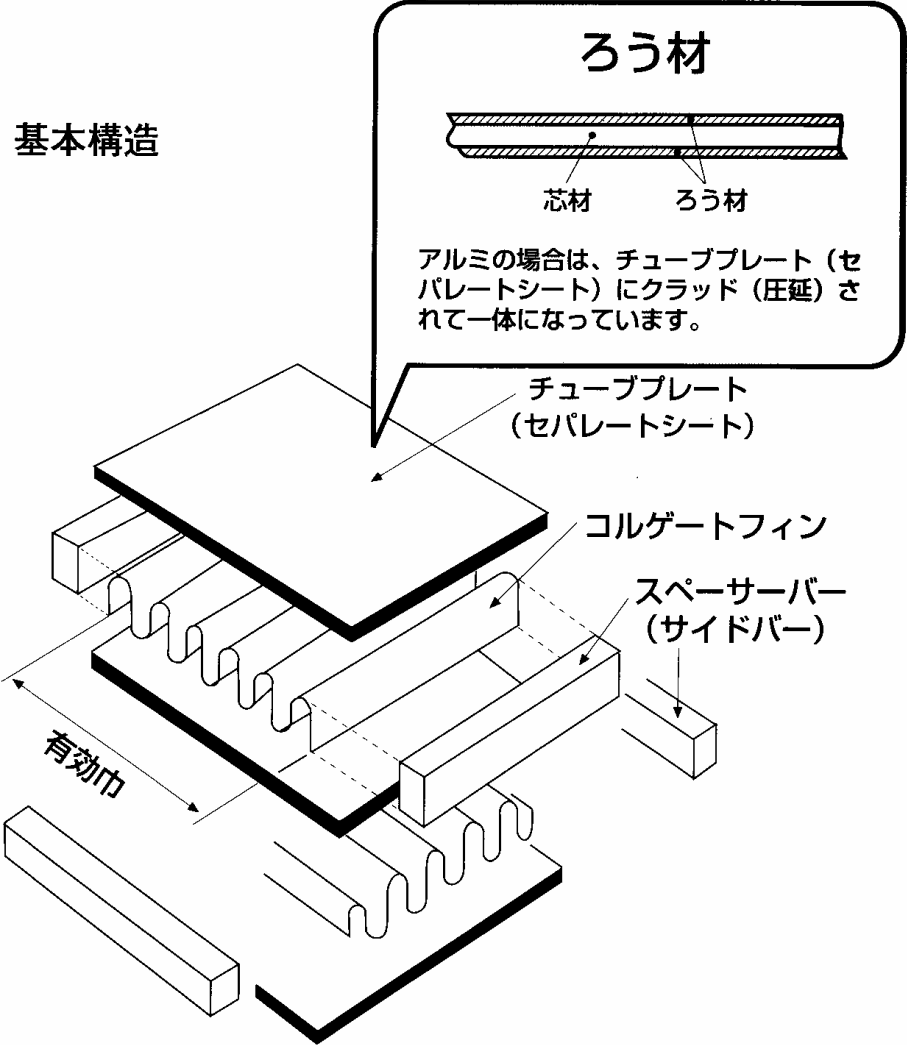


■ 設計仕様例

気化量	
圧力	11
温度	(液)
バーナ	20
バス温度	
ブロー	2600
バス寸法	

熱交換器

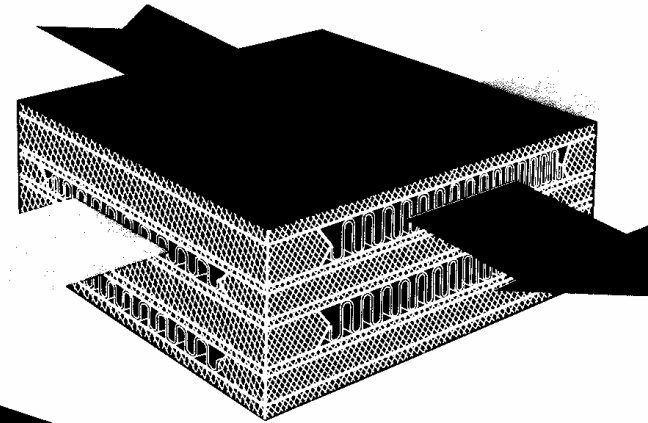
基本構造



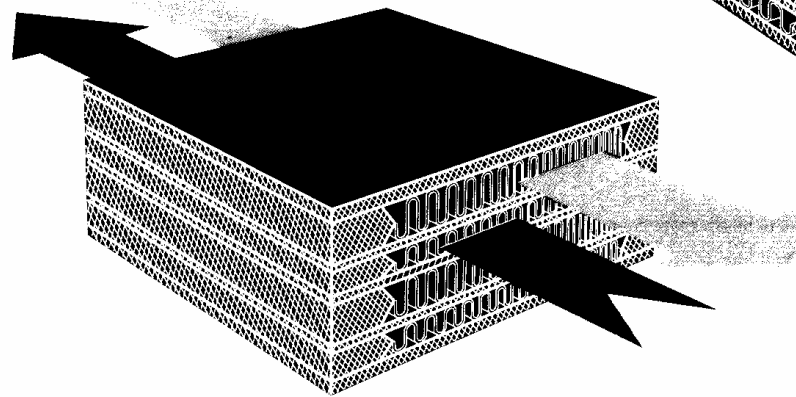
熱交換器

熱交換器の流動方法は、基本的には直交流型と向流型ですが、要望に応じて、これらを組合せた種々の流動方式も設計・製作できます。→次頁

直交流型

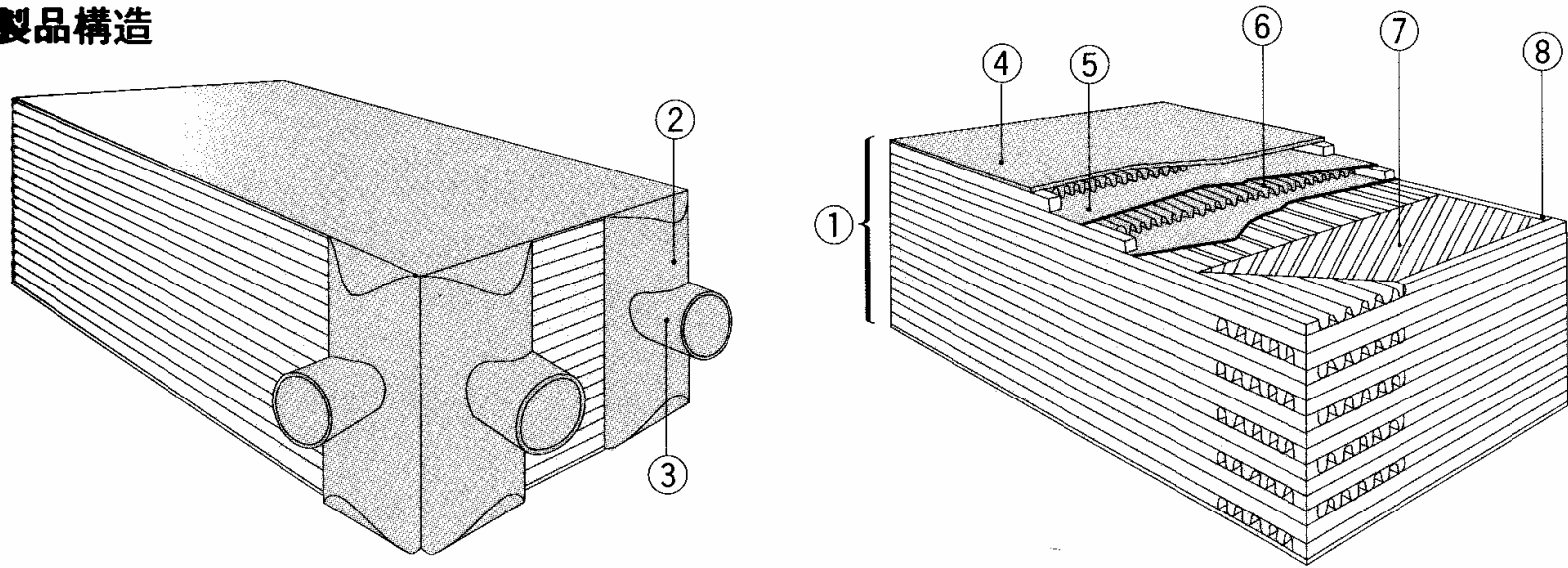


向流型



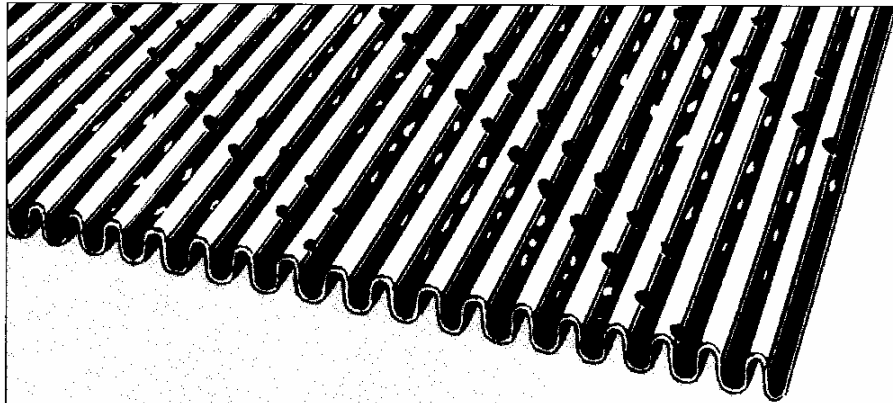
熱交換器

製品構造

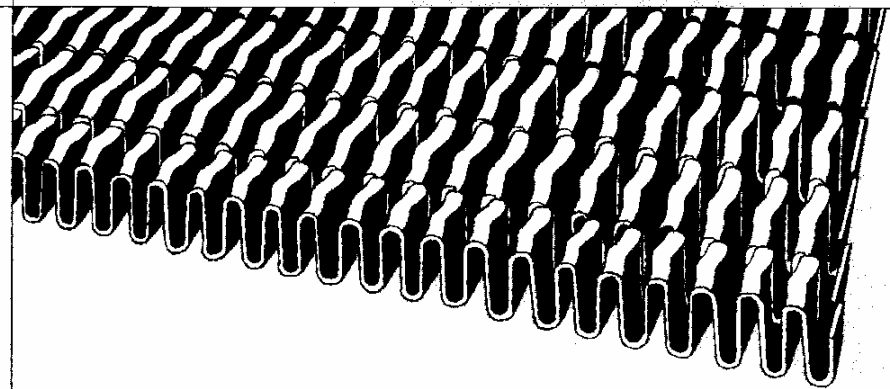


- | | | | |
|---------|------------|-------------|---------------|
| 1. コア | 3. ノズル | 5. チューブプレート | 7. ディストリビューター |
| 2. ヘッダー | 4. サイドプレート | 6. コルゲートフィン | 8. スペーサー |

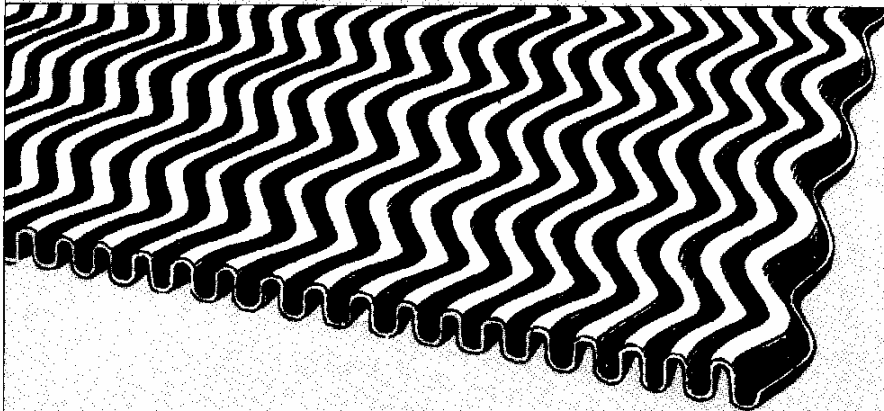
熱交換器



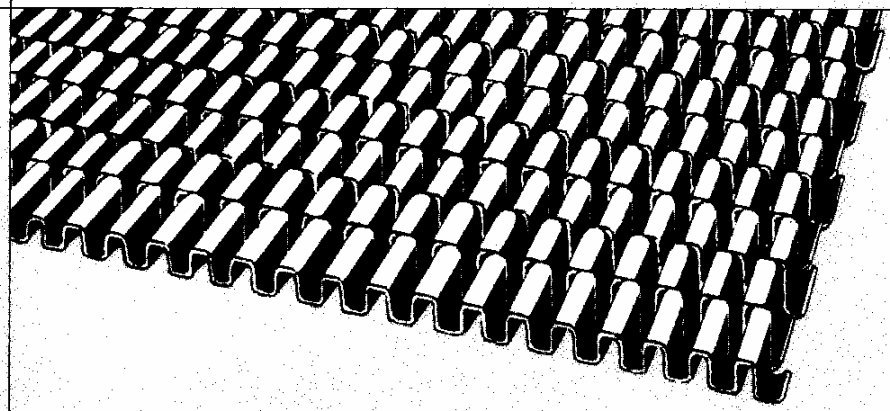
パーホレート型



ルーバー型



ヘリンボーン型



セレート型

ヒートパイプ

密閉したパイプの中に液体と蒸気を封入

高温側で液体が蒸発

低温側で液体が凝縮

潜熱輸送のために大きな熱輸送が可能

見かけ上銅の数十倍から数百倍の熱伝導率

凝縮した液体は、ウィック(金網)内を表面張力で流れるか、重力により高温部に戻る。

電子機器(PC)の冷却、人工衛星の冷却

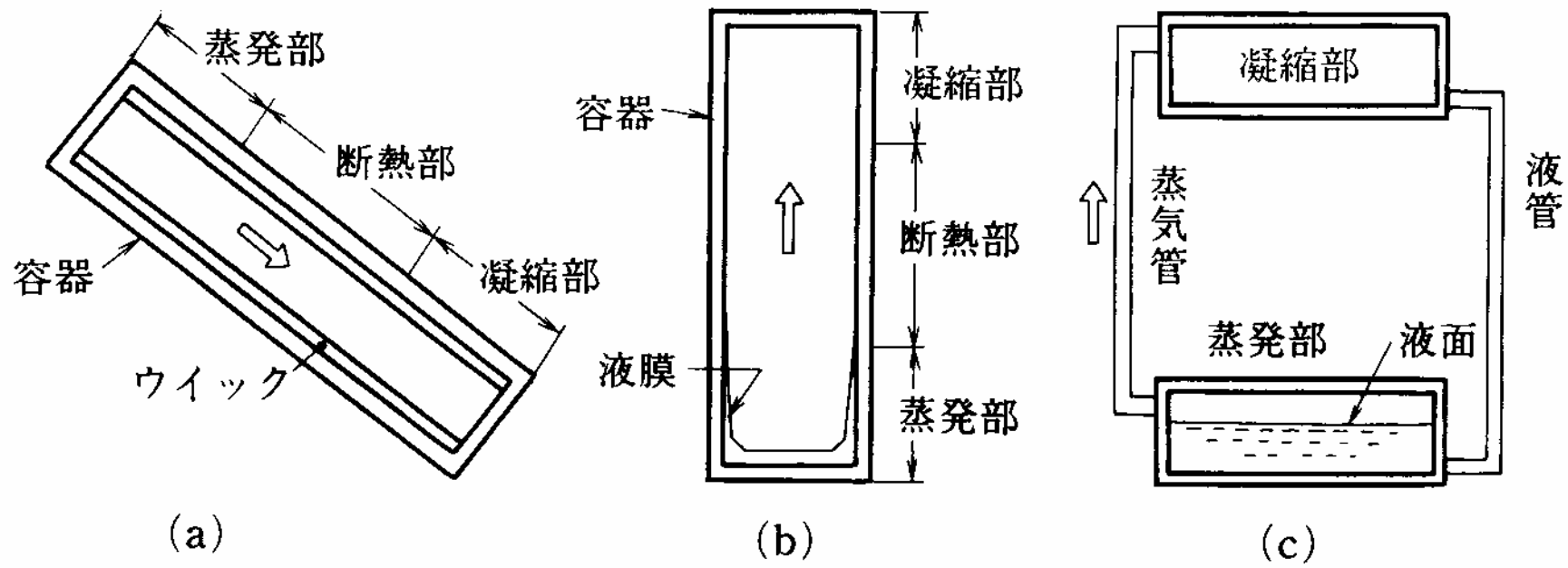
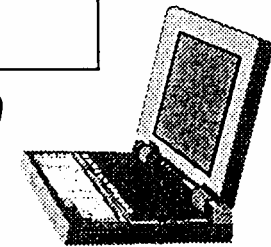
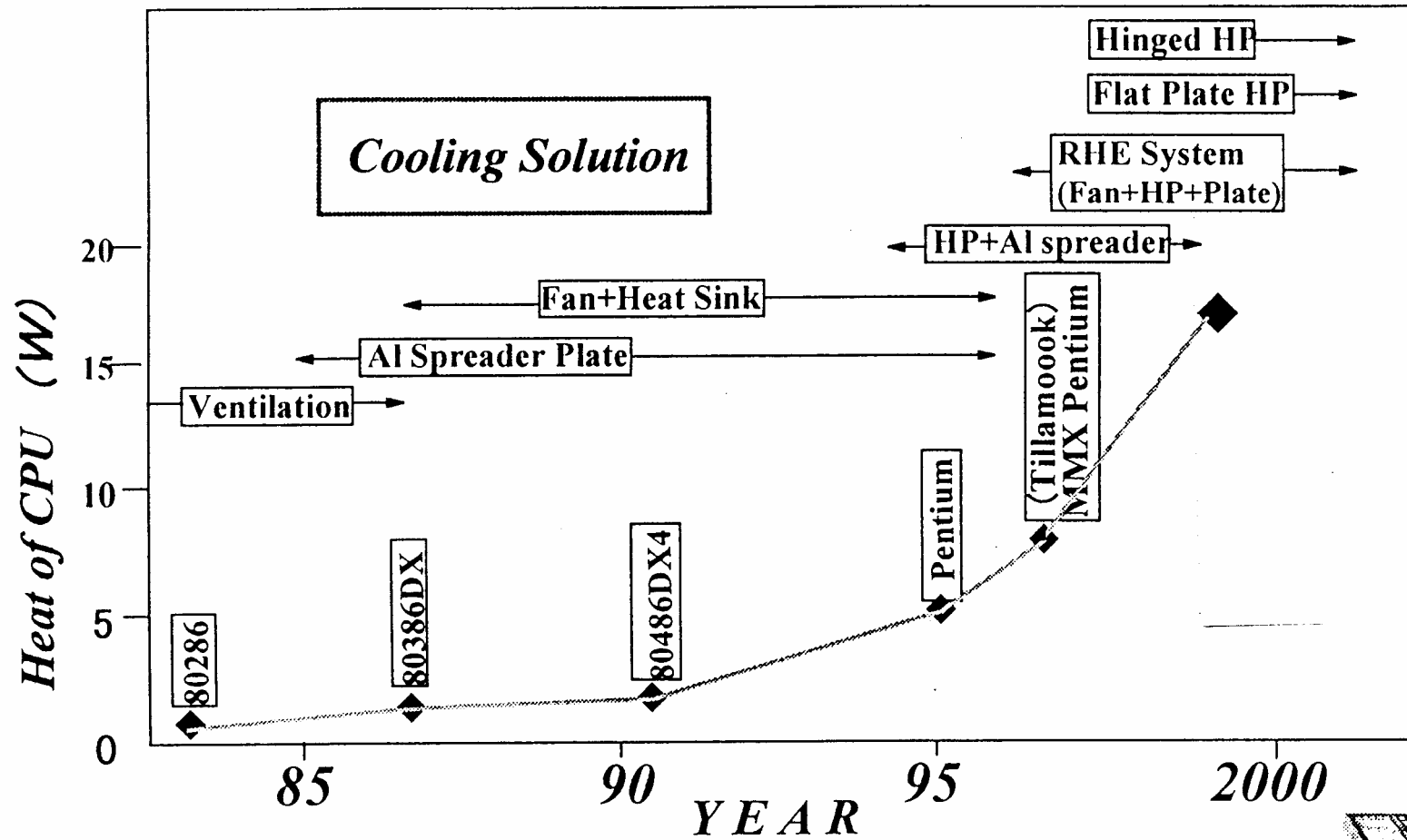
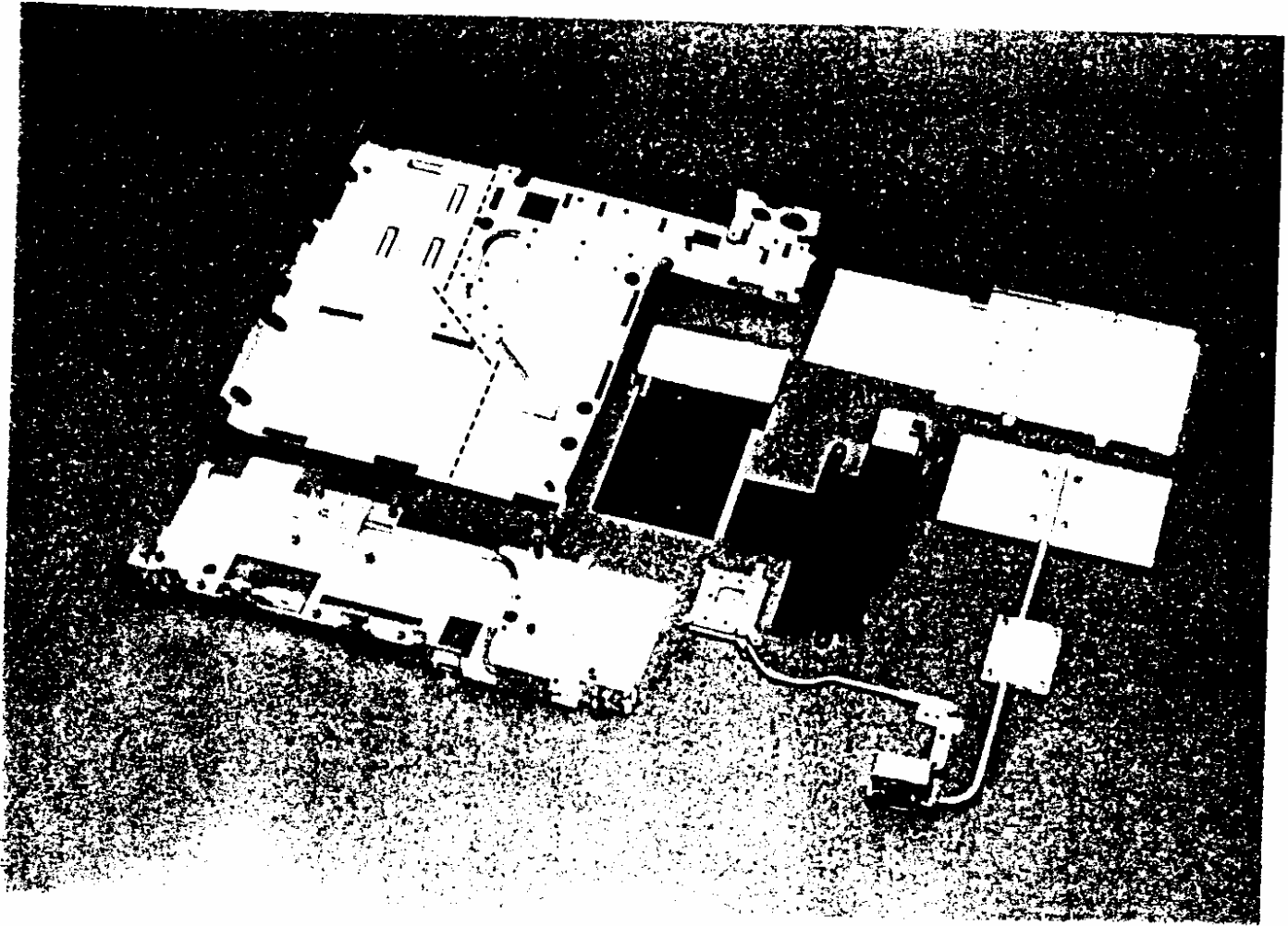


図1 ヒートパイプの代表例 (⇨蒸気流)

Cooling Technology Tendensity of Notebook PC





バブルジェットプリンター

非常に微細なパイプの中の沸騰、凝縮二相流

非常に少量で安定した液滴が得られる。

電子回路のエッチングの技術を応用して流路を作る。

微細管内の二相流は医療機器等に応用が広がっている

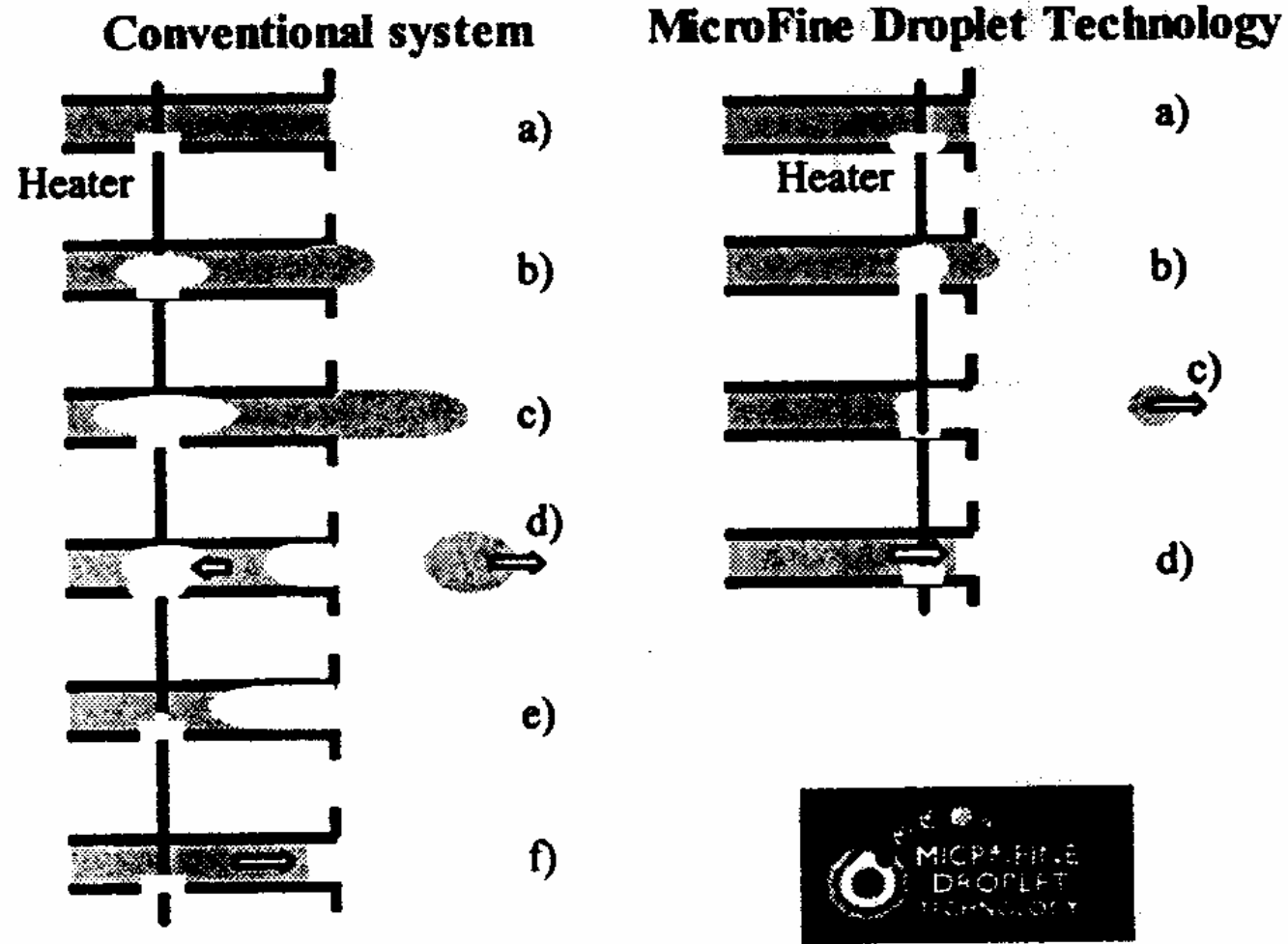


Figure 1 The difference between conventional and new droplet ejection system

a)



b)

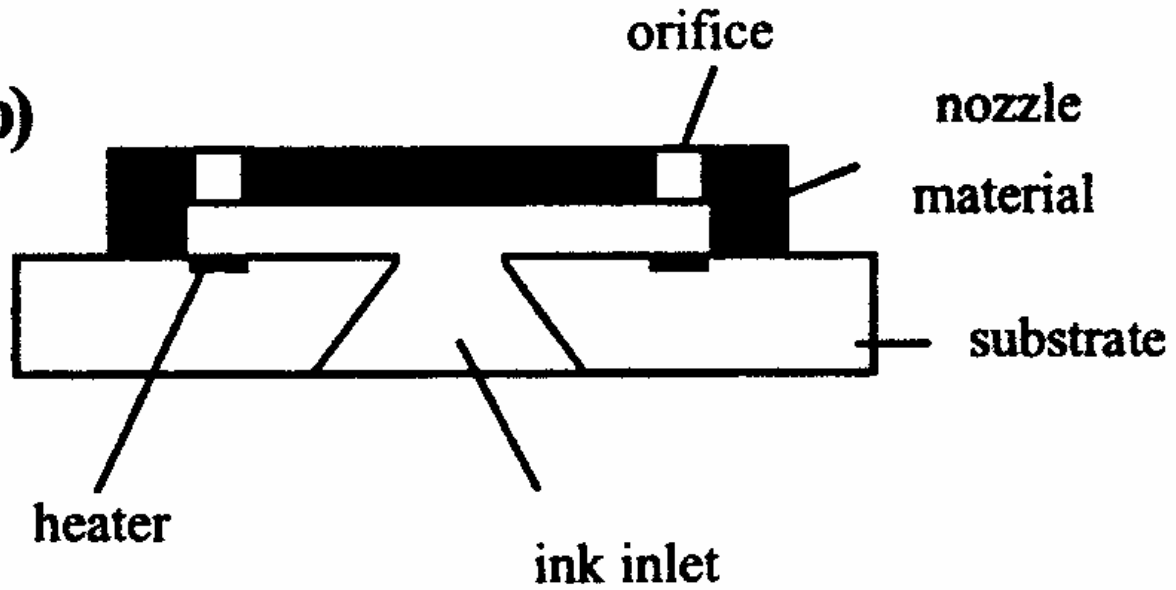


Figure 3 Bubble jet head cross section around the nozzle

エアコン(ヒートポンプ)

冷媒の沸騰、凝縮を利用した伝熱装置。

圧縮式

コンプレッサーを用いて冷媒を圧縮、凝縮させ、それを気化することにより、冷房あるいは暖房を行う。

吸収式

アンモニア、臭化リチウムなどを水に溶かし、加熱して濃度を変えることにより、冷房、暖房を行う

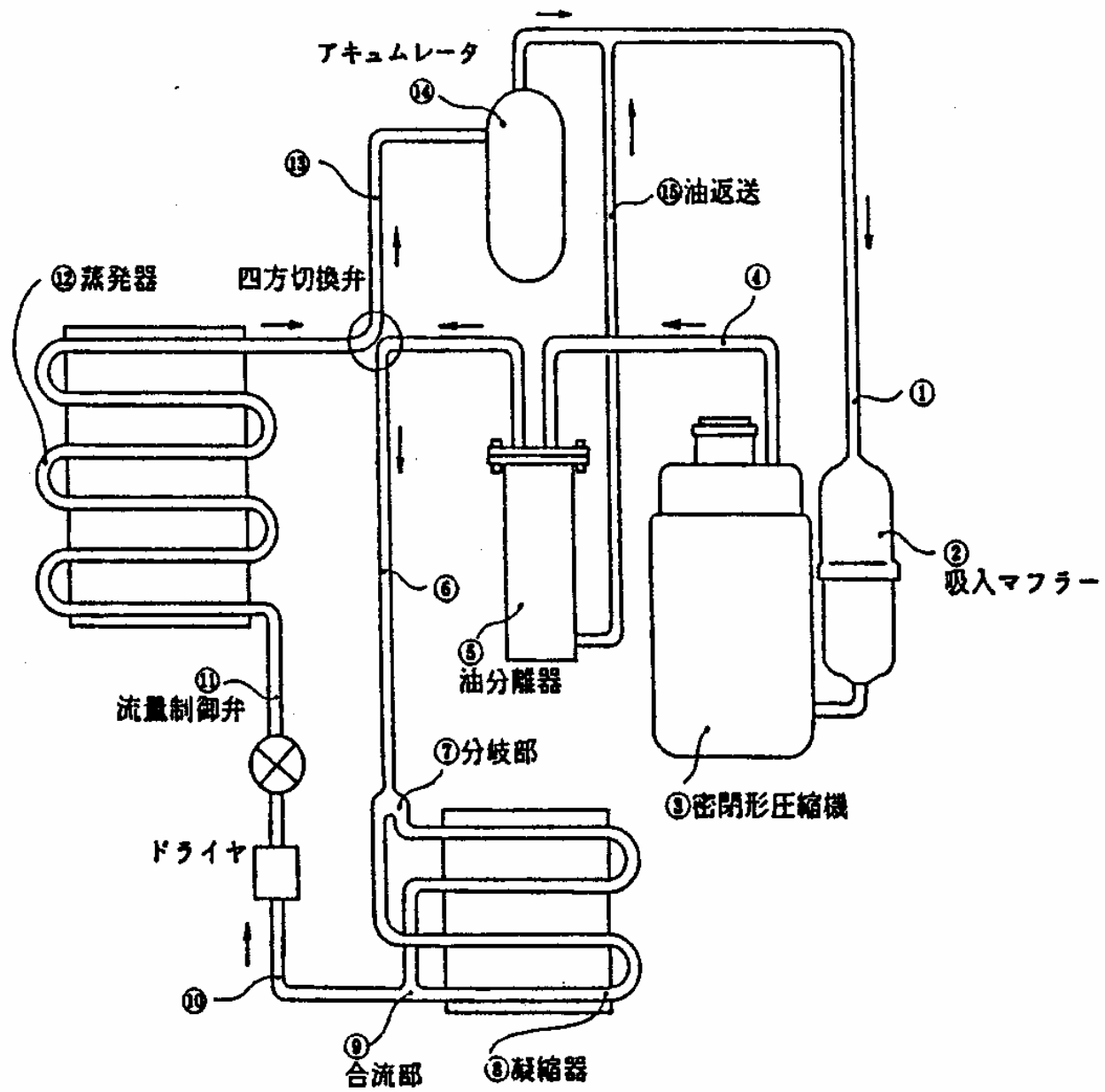


図 2. 1 ヒートポンプ冷媒回路の例

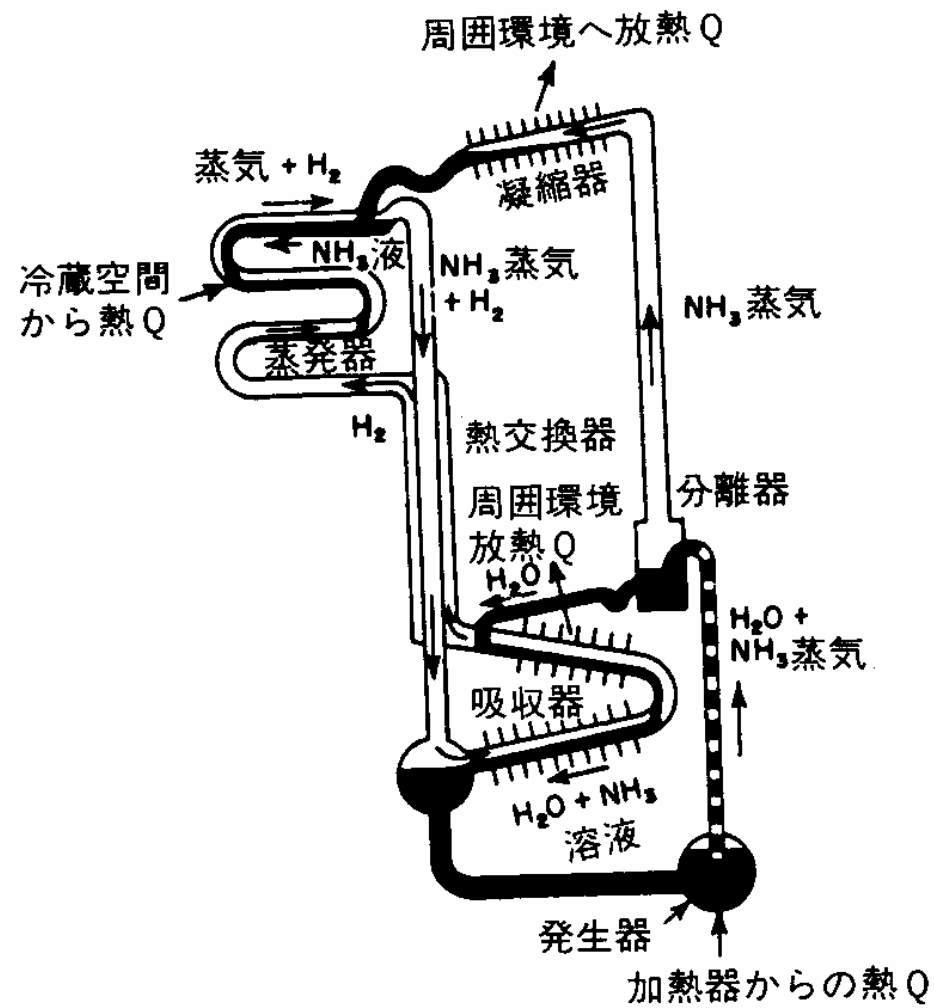


図2.16 “エレクトロラクス” サイクル

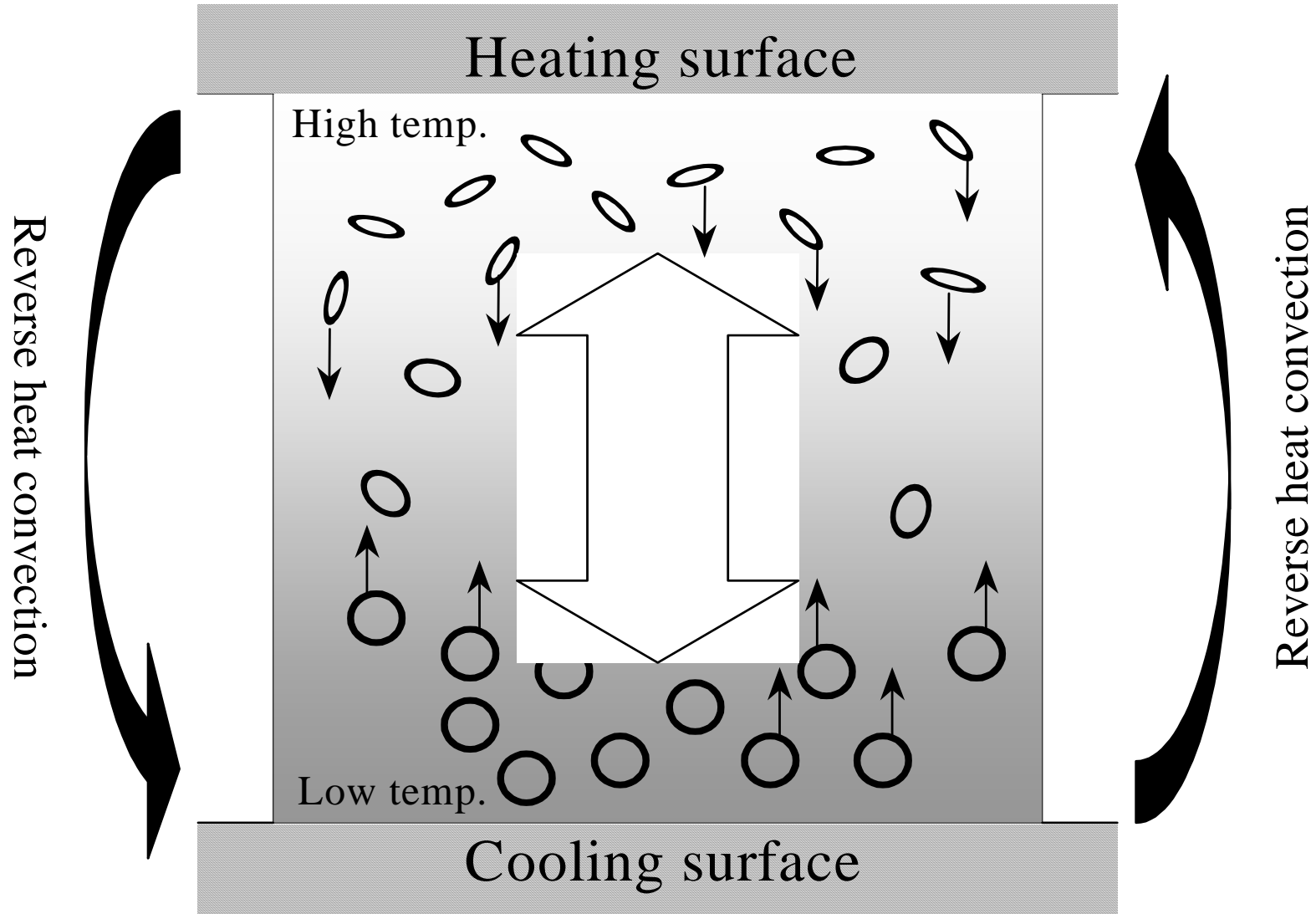
新たな伝熱技術の開発

伝熱流動現象はあらゆる技術の基盤となる
新たな技術開発、最先端技術、環境分野で
今後益々応用が広がる

従来にない性能を持った伝熱機器の開発が
求められる

種々の技術を用いた新たな技術開発

例：機能性、知能性流体の開発



気泡噴流(水質改善)

湖沼や港湾

水の汚染や富栄養化により、底層に無酸素層ができる

水の循環を起こして、酸素供給をすることにより水質改善

水循環ポンプは大規模体系には使えない

コンプレッサーにより底部に空気を送り気泡噴流を作り水を循環させる

