
I編 緒論

1 種類・動向

2 設計手順

3 振動制御

4 熱交換ネットワークの解析と設計

II編 各種熱交換器

1 多管式熱交換器

2 コンパクト熱交換器

3 全熱交換器

4 特殊構造熱交換器

5 充填層・流動層熱交換器

6 蓄熱式熱交換器

7 レキュベレータ・排熱ボイラ

8 凝縮器・復水器

9 直接接触式熱交換器(冷却塔)

III編 材料

1 装置材料

2 熱媒体

IV編 設備保全

1 水管理・洗浄

2 保全作業の機械化

3 探傷技術

4 寿命予測とトラブル事例

V編 熱交換システム

1 空調機用熱交換器

2 自動車用熱交換器

3 電子機器の冷却技術

4 太陽熱温水器

5 床暖房

6 減圧蒸気式温水ボイラ

7 熱媒式排熱回収システム

8 天然ガスバイブライン

9 天然ガス気化装置

10 融雪システム

11 雪冷房システム(雪-空気直接熱交換)

12 マイクロガスタービン

13 新しい蒸留技術-内部熱交換型蒸留塔

14 輻射熱交換器

15 燃料電池コージェネ用の熱交換器

16 ナトリウム冷却高速増殖炉

●熱交換器製品データシート

●熱交換器および熱関連主要メーカーリスト

目次

I編 緒論 15

1. 種類・動向 ----- 17

1.1 --- はじめに 17

1.2 --- 熱交換器の分類 17

(1) プロセスでの機能から/17 (2) 伝熱過程から/18 (3) 構造から/18 (4) 伝熱面のコンパクトさから/19 (5) 流動様式から/19 (6) 伝熱機構から/20

1.3 --- 熱交換器と伝熱促進 20

(1) 各種熱交換器の熱通過率/21 (2) 冷却対象と熱流束/21

1.4 --- MEMSと熱交換器 22

1.5 --- エネルギーシステムにおける増幅あるいは安定化作用 24

1.6 --- 結 び 24

2. 設計手順 ----- 26

2.1 --- 熱交換器における伝熱の基礎 26

(1) 熱負荷・温度差・伝熱面積と総括伝熱係数/26 (2) 対数平均温度差と温度差補正係数/26 (3) 流体間の伝熱抵抗/28 (4) 境界伝熱係数の算出/29 (5) 温度効率と伝熱単位数/31

2.2 --- 設計の手順 32

(1) 設計要求の確認/32 (2) 必要伝熱面積の概算(Uの初期値設定)/32 (3) 熱交換器の寸法を仮定/32 (4) 伝熱性能のチェック/36 (5) 寸法を再度仮定して再チェック/36

(6) データシートの作成/36

2.3 --- 最適設計のヒント 37

(1) 相変化を伴わない伝熱(単相流)/37 (2) 相変化を伴う伝熱(混相流)/38

3. 振動制御 ----- 39

3.1 --- はじめに 39

3.2 --- 振動現象と評価方法 39

1) 過励起振動(カルマン渦による振動)/40 (2) 自励振動(流弾性振動)/41 (3) ランダム振動(乱流励起振動)/41

3.3 --- 防振対策 42

(1) バッフル(baffle)およびサポート(support)関係による対策/42 (2) 胴関係による対策/44 (3) ノズル関係による対策/44 (4) その他の対策/45

3.4 --- 結 び 45

4. 熱交換ネットワークの解析と設計 ----- 47

4.1 --- エクセルギー 47

4.2 --- 熱回収と熱利用線図 48

(1) 熱回収/48 (2) 熱利用線図/49

4.3 --- ピンチテクノロジー 50

4.4 --- 熱回収システム 51

(1) 常圧蒸留塔設備の大規模熱回収システム/51 (2) 改造検討例/53 (3) 改造検討の進め方/53

4.5 --- ネットワーク 54

(1) 工場全体プロフィール解析による最適化/54 (2) 工場地域熱共有の最適化/57

II編 各種熱交換器 61

1.	多管式熱交換器	63
1.1	空冷	63
	(1)特徴と用途/63 (2)通風方式/63 (3)伝熱特性/64 (4)空冷式熱交換器の構造/66 (5)軸流ファンと省エネルギー/67 (6)採用時の注意点/68	
1.2	水冷, プロセス流体	69
	(1)概説/69 (2)混合ガス(不凝縮ガス)+水蒸気(凝縮あり)の伝熱計算フロー/72 (3)設計上の注意点/74 (4)使用上の注意点/75 (5)今後の展望/75	
2.	コンパクト熱交換器	82
2.1	プレートフィン熱交換器	82
	(1)概説/82 (2)伝熱機構と伝熱基本特性/83 (3)選択上の注意点/88 (4)使用上の注意点/88 (5)今後の展望/89	
2.2	プレート式熱交換器	91
	(1)基本構造/91 (2)伝熱プレート/91 (3)ガスケット/92 (4)液の流れと伝熱のしくみ/93 (5)特徴と用途/94 (6)伝熱特性/94 (7)流動特性/96 (8)機能形プレート式熱交換器/96 (9)選定方法/98 (10)メンテナンス/98	
3.	全熱交換器	105
3.1	概説	105
3.2	構造および原理	105
	(1)回転形/105 (2)静止形/107 (3)熱交換効率/108	
3.3	選定方法および回収熱量計算	108
	(1)選択上の注意点/108 (2)回収熱量計算/109	
3.4	JISについて	110
3.5	結び	111
4.	特殊構造熱交換器	117
4.1	高性能伝熱面	117
	(1)単相流の伝熱促進/117 (2)凝縮熱伝達の促進/119 (3)蒸発熱伝達の促進/123	
4.2	高粘性流体	126
	(1)バッチ式(回分式)熱交換器/126 (2)静止形混合器内臓の熱交換器/128 (3)かきとり式熱交換器/129 (4)蒸気直接接熱/130 (5)様々な加熱技術/131 (6)直接膨張式冷却装置/132 (7)フラッシュチャンバ(またはバキュームベッセル)/132	
4.3	ヒートパイプ	133
	(1)ヒートパイプの原理/133 (2)ヒートパイプの種類/134 (3)ウイック形ヒートパイプ/134 (4)ヒートパイプの応用/140	
5.	充填層・流動層熱交換器	150
5.1	充填層	150
	(1)概説/150 (2)伝熱機構/151 (3)反応器の温度調節法/153 (4)今後の展望/155	
5.2	流動層	155
	(1)特徴と用途/155 (2)流動化状態/156 (3)熱交換器の種類/157 (4)伝熱機構と伝熱基本特性/158 (5)熱交換器に求められる形状/159 (6)今後の展望/161	
5.3	流動層燃焼ボイラ	162
	(1)概説/162 (2)伝熱機構と伝熱基本特性/165 (3)伝熱負荷制御方法/168 (4)トラブル対策/170	
6.	蓄熱式熱交換器	176
6.1	回転式熱交換器	176
	(1)はじめに/176 (2)熱交換のメカニズム/176 (3)タイプ, 形式と仕様/177 (4)各種の排気熱回収の実例/178 (5)結び/180	
6.2	熱風炉	181
	(1)特徴と用途/181 (2)構成と操業様式/181 (3)伝熱機構/181 (4)設計上および使用上の注意点/183 (5)熱効率への影響因子/184 (6)課題と展望/188	
6.3	蓄熱燃焼システム	189
	(1)蓄熱燃焼の歴史/189 (2)概要と特徴/189 (3)蓄熱式熱交換器の特徴(レキュペレータとの比較)/191 (4)基本特性/192 (5)システムの多様化/195 (6)今後の展望/197	
6.4	蓄熱式脱臭装置(RTO)	198
	(1)蓄熱式脱臭装置(RTO)とは/198 (2)原理と特長/199 (3)機種/203 (4)選択上の注意と付加機能/204 (5)今後の展望/205	
7.	レキュペレータ・排熱ボイラ	215
7.1	レキュペレータ	215
	(1)特徴と用途/215 (2)伝熱機構/218 (3)選定方法/219 (4)損傷事例と使用上の注意点/219 (5)今後の展望/221	
7.2	排熱ボイラ	221
	(1)エチレンプラントの急冷熱交換器/223 (2)アンモニアプラントの2次リフォーマ改質ガスボイラ/225 (3)石油精製プラント流動接触分解装置のCOボイラ/227 (4)ガスタービンの排熱ボイラ/228	
8.	凝縮器・復水器	234
8.1	概説	234
8.2	伝熱機構と伝熱基本特性	235
	(1)真空度/235 (2)冷却管内流速/236 (3)清浄度/236 (4)復水器負荷(復水器から冷却水へ捨てられる熱量)/236 (5)熱貫流率/236 (6)冷却面積/236	
8.3	選択上の注意点	237
	(1)管配列/237 (2)冷却管材料/237	
8.4	使用上の注意点	238
8.5	今後の展望	238
9.	直接接触式熱交換器(冷却塔)	243
9.1	概説	243
	(1)特徴/243 (2)用途/245	
9.2	伝熱機構と伝熱基本特性	245
	(1)伝熱機構/245 (2)伝熱基本特性/247	
9.3	選択上の注意点	248
	(1)冷却水の使用先/248 (2)据え付け場所/249 (3)出口水温/249 (4)冷却塔容量/250	
9.4	使用上の注意点	250
	(1)性能評価/250 (2)容量制御/250 (3)水質制御/250 (4)冬期運転/251 (5)レジオネラ症対策/252	
9.5	今後の展望	252
	(1)フリークーリング/253 (2)蒸発式凝縮器/253 (3)密閉式冷却塔/253	
III編	材料	255
1.	装置材料	257
1.1	概論	257
	(1)炭素鋼/257 (2)ステンレス鋼/257 (3)銅・銅合金/259 (4)アルミニウム・アルミニウム合金/259 (5)チタンならびにチタン合金/260	
1.2	ステンレス鋼	261
	(1)本質と特徴/261 (2)種類/262 (3)耐食性/262 (4)室温における機械的性質/266 (5)物理的性質/268 (6)成形加工性/268 (7)溶接性/270	
1.3	炭素鋼	270
	(1)腐食と環境要因の影響/270 (2)熱交換器の供給中における注意点/272 (3)防食対策例/274	
1.4	銅・アルミニウム	275
	(1)銅および銅合金/275 (2)アルミニウム/279	
1.5	チタン	282

	(1)熱交換器用材料としてのチタン/282 (2)熱交換器について/285	
1.6	--- セラミックス 288	
(1)はじめに/288	(2)熱交換器用材料としてのセラミックス/288 (3)熱交換器の事例/290	
1.7	--- ガラス/GL292	
(1)はじめに/292	(2)ガラス/292 (3)GL/296	
1.8	--- ふっ素樹脂 297	
(1)はじめに/297	(2)種類と特性/297 (3)熱交換器の種類と伝熱基本特性/298 (4)トラブル事例/302 (5)今後の展望/303	
1.9	--- カーボン 303	
(1)概 説/303	(2)物理的特性/303 (3)化学的特性/305 (4)熱交換器設計上および使用上の注意点/306 (5)今後の展望/306	
2.	熱媒体 ----- 309	
2.1	--- 熱媒体の種類と物性 309	
(1)水、ガス/309	(2)有機系熱媒体/310 (3)熔融塩(HTS)/310 (4)熔融金属/313 (5)液相冷媒/313	
2.2	--- 熱媒体の選定と管理 314	
(1)選定基準/314	(2)選定例/315 (3)劣化と運転管理/316	
IV編	設備保全 319	
1.	水管理・洗浄 ----- 321	
1.1	--- 冷却水系の分類 321	
1.2	--- 開放循環冷却水系の水収支と物質収支 321	
1.3	--- 障害の発生機構と防止方法 323	
(1)腐食反応と腐食速度/323	(2)防食剤の使用による金属の腐食防止/324 (3)スケールの析出と付着/325 (4)スケール防止剤によるスケールの成長抑制および冷却水のpH調整/326 (5)代表的な腐食およびスケール防止処理方法/327 (6)スライムの付着とスラッジの堆積/328 (7)スライムの付着およびスラッジ堆積の防止/329	
1.4	--- 熱交換器の運転条件と冷却水処理薬品の効果 331	
(1)低流速部での孔食の発生と防止/331	(2)高温伝熱面でのスケールの付着と防止/332	
1.5	--- 熱交換器の設計汚れ係数と許容汚れ付着厚さ 332	
1.6	--- 冷却水系の運転管理と薬品処理効果のモニタリング 333	
(1)冷却水のフロー(濃縮)管理/333	(2)薬品の注入管理/333 (3)補給水と冷却水の水質分析/334 (4)処理効果のモニタリング/334	
1.7	--- 定期検査中の熱交換器の開放点検と洗浄 335	
(1)開放点検/336	(2)熱交換器の洗浄/336	
1.8	--- 運転中の熱交換器の洗浄 337	
2.	保全作業の機械化 ----- 339	
2.1	--- はじめに 339	
2.2	--- チューブバンドル抜き出し作業 340	
2.3	--- チューブバンドル洗浄作業 341	
2.4	--- チューブ半割り清掃作業 341	
2.5	--- フランジ面補修ならびにボルト軸力管理 342	
(1)フランジ面補修技術/343	(2)ボルト締め付け管理技術/343	
3.	探傷技術 ----- 345	
3.1	--- 熱交換器の検査概要 345	
3.2	--- 検査方法の種類 345	
(1)検査方法の分類と目的/345	(2)各種非破壊検査方法の特徴/346	
3.3	--- シェル本体の検査 347	
(1)試験方法の選定/347	(2)UTによる内面腐食の検出/348 (3)UTによる水素誘起割れ(HIC)の検出/348 (4)MTまたはPTによる表面きずの検出/349 (5)溶接部の内部きず(内面に開口したきずを含む)の検出/350 (6)水素浸食等の材料劣化評価/350	
3.4	--- 伝熱管(チューブ)の検査 351	
(1)試験方法の選定/351	(2)PTによるシール溶接部の探傷/351 (3)ETIによるチューブ内外面のきずの検出/351 (4)UTによるチューブ内外面のきずの検出/353	
4.	寿命予測とトラブル事例 ----- 355	
4.1	--- 熱交換器寿命予測 355	
(1)腐食の状況と寿命予測/355	(2)腐食の分布と経年変化/355 (3)極値統計法と極値確率紙/356 (4)極値確率紙の使い方と極値の求め方/358 (5)極値による判定と寿命の予測法/359 (6)極値算出における注意事項/360	
4.2	--- トラブル事例 362	
(1)チューブの腐食/363	(2)チューブの割れ/364 (3)拡張またはシール溶接の漏れ/365 (4)内部フランジのガスケット漏れ/365 (5)外部フランジのガスケット漏れ/366 (6)シェルの腐食/366 (7)仕切り板でのショートパス/366 (8)管壁への汚れ付着/367 (9)管板面への汚れ付着/367 (10)製作時および保全工事におけるトラブル/368	
V編	熱交換システム 369	
1.	空調機用熱交換器 ----- 371	
1.1	--- 概 説 371	
1.2	--- 熱交換器の基本性能 372	
(1)フィン性能/372	(2)伝熱管性能/373 (3)接触熱抵抗/374	
1.3	--- 凝縮器 376	
1.4	--- 蒸発器 376	
1.5	--- まとめと今後の展望 378	
2.	自動車用熱交換器 ----- 380	
2.1	--- 自動車用熱交換器について 380	
(1)自動車で使われる熱交換器/380	(2)改良の歴史/380	
2.2	--- エンジン冷却系の熱交換器 381	
(1)ラジエータ/381	(2)ヒータコア/383	
2.3	--- 自動車用空調の熱交換器 383	
(1)コンデンサ/383	(2)エバポレータ/384	
3.	電子機器の冷却技術 ----- 386	
3.1	--- はじめに 386	
3.2	--- 冷却技術と実装階層 386	
3.3	--- 熱抵抗 388	
3.4	--- 空冷装置の構成 388	
3.5	--- 液冷技術の構成 390	
(1)間接冷却技術/390	(2)直接冷却技術/391	
4.	太陽熱温水器 ----- 392	
4.1	--- はじめに 392	
4.2	--- 種類と構造 392	
(1)汲み置き形(真空管形)/392	(2)自然循環形/393 (3)強制循環形(太陽熱給湯システム)/393	
4.3	--- 集熱器の性能 395	

	(1) 選択吸収面／395 (2) 集熱器の効率と熱収支／395	
4.4	--- 設置、使用上の留意点 397	
5.	床暖房 ----- 399	
5.1	--- 種類 399	
5.2	--- 伝熱機構と伝熱基本特性 399	
	(1) 均熱板と温水配管が放熱量に与える影響／401 (2) 温水流量が放熱量に与える影響／401	
5.3	--- 設計上の留意点 402	
	(1) 仕上げ材が与える影響／402 (2) 人体に与える影響について／403	
5.4	--- 使用上の留意点 404	
	(1) 住宅の断熱性能について／404 (2) 制御について／404	
5.5	--- 今後の展望 404	
6.	減圧蒸気式温水ボイラ ----- 406	
6.1	--- 概要と用途 406	
	(1) 熱交換器／406 (2) 用途／407	
6.2	--- 伝熱機構と伝熱基本特性 407	
	(1) 伝熱機構／408 (2) 伝熱基本特性／408	
6.3	--- 使用上・選択上の留意点 409	
6.4	--- 今後の展望 410	
7.	熱媒式排熱回収システム ----- 411	
7.1	--- 熱媒式とは 411	
7.2	--- 経済性の検討 411	
7.3	--- システムの特徴 412	
7.4	--- 使用する熱媒体 413	
7.5	--- 実施例 414	
	(1) コークス炉の顕熱回収／414 (2) 高炉熱風炉からの排熱回収／415 (3) 熔融金属からの反応熱回収(吸収)／417	
8.	天然ガスパイプライン ----- 418	
8.1	--- 天然ガスパイプラインと熱交換器 418	
8.2	--- ガス温度変化要因 418	
	(1) コンプレッサステーションでの断熱圧縮による温度上昇／418 (2) ガバナステーションでの断熱膨張による温度低下／418 (3) パイプライン輸送中の温度変化／418	
8.3	--- ガス温度範囲の制約 419	
	(1) パイプライン材料の特性に関わる使用温度範囲の制約／419 (2) 永久凍土に埋設されたパイプラインの適正運転温度範囲／419	
8.4	--- 熱交換器システムの例 420	
	(1) 長距離パイプラインのコンプレッサステーションに設置されるガス冷却設備／420 (2) 高圧幹線パイプラインの減圧設備に配置されるガス加熱装置／421	
8.5	--- 原油パイプラインで使用されている放熱パイプサポート 422	
9.	天然ガス気化装置 ----- 423	
9.1	--- 形式と分類 423	
9.2	--- 設計上の留意点 424	
	(1) 材料／424 (2) 運転圧力と沸騰領域／424 (3) 運転圧力と不安定沸騰現象／425 (4) 着氷現象／425	
9.3	--- オープンラック式気化装置 425	
	(1) 構造と特長／425 (2) 熱応力対策／426 (3) 腐食対策／426	
9.4	--- サブマージド・コンバッション式気化装置 427	
	(1) 構造と特長／427 (2) 水中燃焼バーナ／427 (3) チューブバンドル／428 (4) ダウンカマー／428	
10.	融雪システム ----- 429	
10.1	--- 液中燃焼装置を使用した融雪システム 429	
	(1) システム／429 (2) 液中燃焼缶／430 (3) 使用するバーナ／430 (4) 熱計算／431	
10.2	--- ヒートパイプ融雪システム 432	
10.3	--- ヒートポンプ融雪システム 433	
10.4	--- その他 433	
11.	雪冷房システム(雪-空気直接熱交換) ----- 435	
11.1	--- 全空気方式雪冷房の導入の背景とシステム 435	
11.2	--- 熱交換器としての貯雪庫(貯雪槽)の伝熱特性 436	
	(1) 伝熱特性の試験方法／436 (2) 伝熱特性とその整理式／437 (3) 貯雪槽(貯雪庫)出口空気温度の算出／439	
11.3	--- 選択上の留意点 440	
11.4	--- 使用上の留意点 441	
11.5	--- 今後の展望 441	
12.	マイクロガスタービン ----- 443	
12.1	--- 概説 443	
12.2	--- 構造および特長 443	
12.3	--- 熱交換器 445	
12.4	--- 再生器 445	
12.5	--- 排熱回収装置	
12.6	--- 今後の展望 448	
13.	新しい蒸留技術-内部熱交換型蒸留塔 ----- 449	
13.1	--- 「蒸留塔」は「熱交換器」 449	
13.2	--- 蒸留の熱交換量 449	
13.3	--- 省エネルギー蒸留塔 HIDiC (ハイディック)450	
13.4	--- ?HIDiCの構造と研究課題 451	
13.5	--- 今後の展望 452	
14.	輻射熱交換器 ----- 454	
14.1	--- 概説 454	
14.2	--- 多孔性固体と基本原理 455	
14.3	--- 開発研究例 456	
14.4	--- 今後の展望 458	
15.	燃料電池コージェネ用の熱交換器 ----- 460	
15.1	--- 概説 460	
15.2	--- 燃料電池システム用熱交換器 460	
	(1) 概要／460 (2) 熱交換器のポイント／462	
15.3	--- 使用例 463	
15.4	--- 今後の展望 464	

16.	ナトリウム冷却高速増殖炉	465	
16.1	特 徴	465	
16.2	中間熱交換器	466	
(1) 構造	466	(2) 交換熱量	467
16.3	蒸気発生器	467	
(1) 構造	467	(2) 伝熱流動	469

●熱交換器製品データシート

1.1	多管式熱交換器?空冷	77
千代田工商/ササクラ		
1.2.	多管式熱交換器?水冷, プロセス流体	79
神威産業/瀬尾高圧工業/住友精密工業		
2.1.	プレートフィン熱交換器	100
住友精密工業/神戸製鋼所/神鋼メタルプロダクツ/カワサキプラントシステムズ		
2.2.	プレート式熱交換器	104
日阪製作所		
3.	全熱交換器	113
三菱電機/ダイキン工業/東洋製作所/松下エコシステムズ		
4.1	特殊構造熱交換器?高性能伝熱面	144
日立電線		
4.2.	特殊構造熱交換器?高粘性流体	145
ノリタケエンジニアリング/ヤスダファインテ/住友商事		
4.3.	特殊構造熱交換器?ヒートパイプ	148
ササクラ/昭和電工		
5.	流動層燃焼ボイラ	173
荏原製作所/三井造船/カワサキプラントシステムズ		
6.1	蓄熱式熱交換器?回転式	207
ニッチツ		
6.2	熱風炉	208
スチールブランテック/日本ファーンネス工業		
6.3	蓄熱燃焼システム	211
東京ガスエンジニアリング/日本ファーンネス工業/中外炉工業/ロザイ工業/大阪ガス/横井機械工作所/テラ・コーポレーション		
6.4	蓄熱式脱臭装置	213
中外炉工業/新東工業		
7.	レキュベレータ	230
アルストム/ロザイ工業/日本ファーンネス工業/熱研産業		
8.	凝縮器・復水器	241
三菱重工業/カワサキプラントシステムズ		

熱交換器および熱関連主要メーカーリスト 473

索引 475