

プラント機器の基本設計支援のための知識表現モデル

山口 秀行^{†1} 長澤 勲^{†2} 梅田 政信^{†2}
望月 雅光^{†3} 章 志華^{†4}

プラント機器の設計部門では、設計業務の効率化のために問題向け CAD システムを導入し、運用している。しかし設計知識の取扱い方に問題があり、市場、材料、製品構成などの変化に追従できず、業務を硬直化させている。また、自動化したシステムに依存して、あるいは設計知識を隠蔽化したシステムに阻まれて新人設計者が育たず、技術の空洞化が深刻な問題となっている。このような問題を解決するには、設計者自らが設計知識を体系的に整理し、これを運用管理できる体制が不可欠である。本論文では、プラント機器の基本設計を対象に、設計知識を体系的に整理し、モデル化するための手法を提案する。本手法では、まず、設計者が想定した設計案の探索範囲や設計条件を記述した設計空間を用いて設計問題を表現する。次に、この設計空間の代表的な解法を用いて、得られる設計解の質を保ちながら設計解探索の計算量を削減する。最後に、複雑な設計問題の設計手順を小問題の設計空間の連鎖として表現する。本手法により、頑健性を保ちながら保守性や理解性に優れた形に設計知識を編成できる。本手法の有効性を確認するため、熱交換器の基本設計を対象にした設計知識のモデル化実験を行い、理解性や保守性が向上することを確認した。また、これを用いて設計実験を行った結果、設計解の分布全体を入手できることにより従来の設計実績より優れた設計解が存在することを確認した。

Knowledge Representation Model for Basic Design of Power Plant Equipment

HIDEYUKI YAMAGUCHI,^{†1} ISAO NAGASAWA,^{†2} MASANOBU UMEDA,^{†2}
MASAMITSU MOCHIZUKI^{†3} and ZHIHUA ZHANG^{†4}

Design sections of power plant equipment have introduced problem-oriented CAD systems for the sake of design productivity. It has, however, become difficult that design works follow the changes of the marketplace needs and evolution of technologies because of their improper handling of design knowledge. As a result, design works have been stiffened. The lack of technologies also becomes a serious problem since it is difficult for a new designer to learn design knowledge since the design tasks strongly depend on the CAD systems and design knowledge is hidden in the systems. It is important to provide a framework which enables designers to systematize and manage design knowledge by themselves. This paper proposes a modeling technique of design knowledge about basic design of plant equipment. This technique represents a design problem at first as a design space which describes a search scope of design plans and design conditions. Computational complexity of the search of the design solutions is then reduced by using typical methods without reducing the quality of the solutions. Design procedure of a large complex problem is finally represented as a chain of small design spaces. This technique enables designers to organize design knowledge not only in maintainable and understandable form but also in robust form. Experiments on modeling of design knowledge about basic design of heat-exchanger show that both understandability and maintainability of the knowledge are improved. Design experiments also show that there exist better solutions than the past designs due to availability of distributions of all possible solutions.

1. はじめに

発電プラントの主要機器は、高信頼性が要求される一品受注品であり、製品ごとに設計を行う。設計者は、要求品質の高度化や環境問題への配慮のため、様々な要件¹⁾に配慮するとともに、設計や製造コストの削減にも努めなければならない。このため設計部門では、従来、次のような対策がとられてきた。1960年～70年代には、設計業務の効率化のため、標準化と分業化

^{†1} 長菱設計株式会社
Choryo Design Ltd. Co.

^{†2} 九州工業大学情報工学部
Faculty of Computer Science and System Engineering,
Kyushu Institute of Technology

^{†3} 九州工業大学情報科学センター
Information Science Center, Kyushu Institute of Technology

^{†4} 山陽女子短期大学
Sanyo Women's College

が進められ、定型設計の設計効率は向上した。しかし、業務の標準化は、設計手順の整理を中心に行われ、設計に必要な基礎知識や背景知識を整理の対象とはしなかった。このため時間の経過とともに設計知識が散逸し、設計者間の技術の伝承を妨げた。また分業化は、設計者を担当工程に専門化させ、設計全体にわたる広範囲な設計知識を持つ開発設計者を激減させた。一方では、設計業務の自動化を指向した問題向き CAD²⁾が開発され導入された。このシステムにより設計品質が均一化し、定型設計の設計効率が向上した。しかし、設計知識の取扱い方に問題があり、市場、材料、製品構成などの変化に追従できず、業務を硬直化させている。また、自動化したシステムに依存して、あるいは設計知識を隠蔽化したシステムに阻まれて、新人設計者が育たず、技術の空洞化が深刻な問題となっている。1980年代には、診断型や計画型のエキスパートシステムが開発された。機械設計の分野でも AI 技術への期待が高まり、設計エキスパートシステムの研究や開発が試みられた³⁾。しかし、これらの研究に設計実務者が全面的にかかわることは少なく、設計知識や設計手法そのものに言及した議論は十分には行われなかった。このため、設計知識や業務の体系化が行われず、設計者からみると問題向け CAD との違いを見い出せず普及しなかった^{4),5)}。

このような背景から著者らは、設計者自らが設計知識を体系的に整理し、これを運用管理できる体制が不可欠と考えている。このためには、設計知識を直接的に取り扱える知識表現言語とその支援環境を提供し、これを用いて設計知識をモデル化した新しい設計手法を普及する必要がある。筆者らは、すでに設計者が直接に設計知識を記述でき、運用管理できる設計用言語 DSP^{6)~9)}を開発し、カメラの機構、歯車減速機、プラント機器などの設計現場で実用に供してきた。これらの経験から、設計知識を体系的に整理する設計者の能力に個人差があり、できあがった知識ベースの品質にばらつきがあることが判明している。このような問題を解決するためには、頑健で保守性や理解性に富む知識ベース構築のための設計知識のモデル化手法が必要である。

本論文では、プラント機器の基本設計を対象とする。以下、2章ではプラント機器設計の概要を説明する。3章では、設計者が取り扱う設計問題の単位を設計空

間という概念を用いて定式化する。設計空間は、設計者が想定した設計案の探索範囲や設計条件を明示するものである。4章では、設計空間の代表的な解法について述べる。これらは、得られる設計解の質を保ちながら、設計解探索の計算量を削減する様々な手法をまとめたものである。5章では、複雑な設計問題の設計手順を小問題の設計空間の連鎖として表現する手法を述べる。以上により、複雑な設計問題の解決手順を頑健で保守性や理解性に富む形に編成できる。6章では、本手法の有効性を確認するため、熱交換器の基本設計を対象にした設計知識のモデル化実験を行い、理解性や保守性が向上することを確認した。7章では、設計実験を行った。その結果、設計解の分布全体を入手できることにより従来の設計実績より優れた設計解が存在することを確認した。

2. プラント機器設計の概要

2.1 熱交換器の構造

図1に示すシェル・アンド・チューブ型熱交換器¹⁰⁾の例を用いて、構造と機能要求の関係を説明する。熱交換器は、耐圧容器の内部に複数の伝熱管を内蔵し、管内流体と管外流体の間で熱交換する。熱交換器は、一般的に次の部品から構成される。図中、本体胴①と

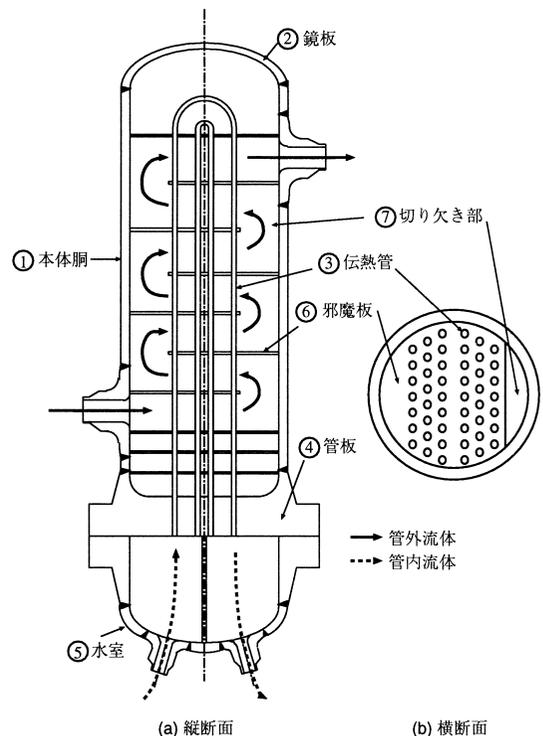


図1 シェル・アンド・チューブ型熱交換器
Fig.1 Shell-and-tube type heat exchanger.

個別の製品群ごとに設計過程を手順化し、それを FORTRAN などの言語を用いて記述している。現在もプラント業界では、10万~100万ステップ程度のソフトウェアが改版を続けながら運用されている。

鏡板②は、流体と内部構造物を格納し、伝熱管③の破損にともなう管内流体の放出を防止し、そして内部構造物を支持する機能を持つ。伝熱管③は熱伝導によって熱を移送する役割を持つ。管板④は、同図 (b) のように数千本の伝熱管群を多数の孔によって支持するとともに、管内流体の分配を行う。水室⑤は、管内流体を均一に分配したり、機器外へ移送するために管内流体を集合させる。邪魔板⑥は、切り欠き部⑦の配置組合せによって、様々な管外流体のながれを作る。

2.2 設計の概要

一般に、プラント機器の設計作業は、概念設計、基本設計、詳細設計の順に行う。概念設計では、設計仕様から構造型式や機器型式など¹⁰⁾の製品概念を決定する。基本設計では、製品概念を機能的な側面から検討して基本寸法などの諸元を決定し、性能評価を行う。このとき設計式を用いて性能要求を満足する解を多数の設計案の中から探索する。詳細設計では、基本寸法などの諸元を基に、製造、製作の側面から、各設計対象物の部位の詳細寸法、および組立構造を決定する。本論文は、この基本設計を対象としている。図2に基本設計のながれを示す。伝熱部設計③では、機能設計と強度設計とを行う。機能設計では、伝熱管と邪魔板の構造や配置を調整し、伝熱性能などの設計要求を満足させる。この設計は、熱交換器の性能を決定する最も重要な部分であり、設計解の質により熱交換器のコスト性能比が決まる。強度設計では、求められた構造、配置、流体特性や、設計条件として与えられた各荷重から部材ごとに発生する応力を求め、破壊や破損に至らないことを確認する。耐圧部設計④では、本体胴、鏡板、水室などの構成物ごとに、安全性や寿命を保証

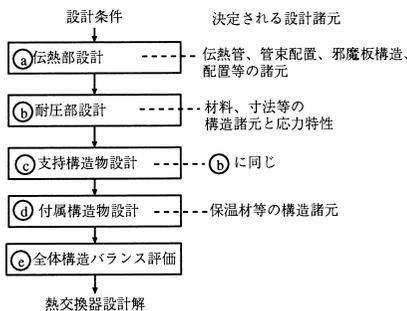


図2 熱交換器基本設計のながれ

Fig.2 Basic design procedures of a heat exchanger.

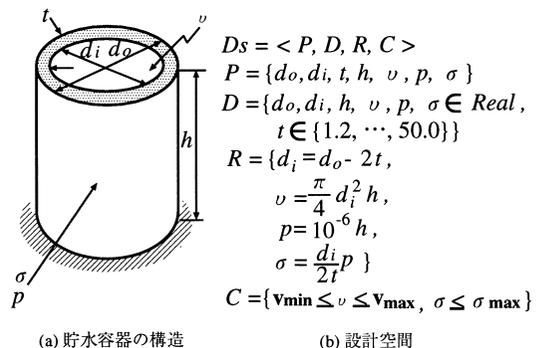
切り欠き部は、本体胴内面積の約3割を切りぬいた部分で、ここを管外流体が通る。たとえば、切り欠き部を180°向きに互い違いに配置すると折流し、90°おきに配置すると旋回流が生じる¹⁰⁾。

するため、法規に規定された設計計算を行う。支持構造物設計⑤と付属構造物設計⑥は、④の耐圧部設計とほぼ同様である。全体構造バランス評価⑦では、③～⑥の設計で決定した設計案の寸法関係や配置の収まりを目視確認する。また、③～⑦の各過程において、製作性、安全性、そしてコストに問題がないように配慮する。

3. 設計問題の表現

3.1 設計空間

設計案は、性能、強度、構造などを表す属性(以下、設計属性)の集合で表現できる¹¹⁾。この設計属性の集合で表した設計案の全体と、その設計案が満足すべき制約をひとまとめにしたものを設計空間 D_s と呼び、 $\langle P, D, R, C \rangle$ の4組で表す。ここで P は設計属性の集合、 D は各設計属性の値域(以下、ドメイン制約)、 R は設計式などで表した設計属性間の関係(以下、属性間関係)、 C は設計属性間に成立すべき制約(以下、設計制約)である。以下、図3(a)に示す例を用いて説明する。同図は、外径 d_o 、内径 d_i 、板厚 t 、高さ h の貯水容器を設計する問題である。この容器は、所要の容量 v を貯蔵し、水深による圧力 p により発生する応力 σ に耐える必要がある。図3(b)に設計空間を示す。この設計問題では、設計属性 $P = \{d_o, d_i, t, h, v, p, \sigma\}$ を用いて、設計案を表現できる。今、この容器の製作に、市場に流通する JIS の熱間圧延鋼板を用いることにすれば、 $d_o, d_i, h, v, p, \sigma$ は実数、 t は板厚を示す離散値であり、ドメイン制約 $D = \{d_o, d_i, h, v, p, \sigma \in Real, t \in \{1.2, \dots, 50.0\}\}$ と



(a) 貯水容器の構造

(b) 設計空間

図3 貯水容器設計の設計空間

Fig.3 Design space of a tank design.

設計計算では、構造を陽に取り扱わない。この鋼板は、最小1.2mmから最大50.0mmまでの間に40種類の板厚が標準として規定されている¹²⁾。

なる．また，属性間関係 R は，容器の内径 d_i ，容量 v ，水深による圧力 $^1 p$ ，およびこの圧力による円周方向応力 $^2 \sigma$ を求める設計式の集合，

$$R = \{d_i = d_o - 2t, v = \frac{\pi}{4}d_i^2h, p = 10^{-6}h, \sigma = \frac{d_i}{2t}p\}$$

である．同様に，設計制約 C は，容器の容量 v が設計要求を満足すること，および使用材料が発生応力 σ に耐えることを表す不等式の集合 $C = \{v_{\min} \leq v \leq v_{\max}, \sigma \leq \sigma_{\max}\}$ である．ここで， v_{\max} ， v_{\min} は，所要容量の上下限， σ_{\max} は使用材料の強度を表す定数である．設計解は，この設計空間の D, R, C をすべて満たす 7 つの設計属性の組の集合である．

3.2 設計空間の標準形

一般に設計問題の解は近似解で十分なことが多いため，解を求めやすいように設計空間を変形する．

設計属性間の従属関係 いくつかの設計属性の値を決定すれば，属性間関係 R を用いて，他の設計属性の値を決定できる．設計属性 a が b_1, \dots, b_n から一意に決定するとき， a を b_1, \dots, b_n の上位属性，また逆に b_1, \dots, b_n を a の下位属性と呼ぶ．たとえば， $d_i = d_o - 2t$ により， d_i を d_o, t から決めるとき， d_i は d_o, t の上位属性， d_o, t は d_i の下位属性である．この従属関係を用いると，設計案を一意に定める設計属性（以下，基底属性）³の組を選択できる．たとえば，図 3 に示した設計空間 D_s の 4 つの関係式から，図 4 に示す設計属性間の従属関係が得られる．このとき，基底属性の組は $\{d_o, t, h\}$ ， $\{d_o, d_i, h\}$ ，および $\{t, d_i, h\}$ の 3 つになり，この中から 1 つ選択すればよい．ここで，属性間関係が関数関係であることを用いて，属性間関係を右辺から左辺を計算する関数に，ドメイン制約を基底属性に対する制約にそれぞれ読み替える．このように変形した設計空間を標準形と呼ぶ（以下，特に断らない限り，設計空間を標準形として取り扱う）．今，従属関係を図 4 中の (a) とすれば，標準形は図 5 のようになる．

ドメイン制約の変更 設計者は設計解の良さを損なわない範囲で，材料の入手性や製作性の観点からドメイン制約を変更する．たとえば，図 3 の貯水容器設計において，工場の都合から，容器の高さ h が 500 mm から 1000 mm までの 100 mm の間隔となる

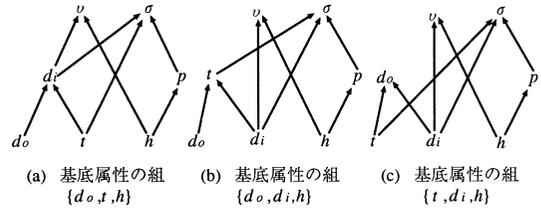


図 4 設計属性間の従属関係

Fig. 4 Dependencies between attributes.

$$\begin{aligned} D_{s1} &= \langle P, D, F, C \rangle \\ P &= \{d_o, d_i, t, h, v, p, \sigma\} \\ D &= \{d_o, t, h \in \text{Real}\} \\ F &= \{d_i = d_o - 2t, \\ &\quad v = \frac{\pi}{4}d_i^2h, \\ &\quad p = 10^{-6}h, \\ &\quad \sigma = \frac{d_i}{2t}p\} \\ C &= \{v_{\min} \leq v \leq v_{\max}, \\ &\quad \sigma \leq \sigma_{\max}\} \end{aligned}$$

図 5 設計空間の標準形

Fig. 5 Nominal form of a design space.

$$\begin{aligned} D_{s2} &= \langle P, D, F, C \rangle \\ P &= \{d_o, d_i, t, h, v, p, \sigma\} \\ D &= \{d_o \in \{216.3, \dots, 406.4\}, \\ &\quad t \in \text{Fmd}(d_o), \\ &\quad h \in \{500, 600, \dots, 1000\}\} \\ F &= \{d_i = d_o - 2t, \\ &\quad v = \frac{\pi}{4}d_i^2h, \\ &\quad p = 10^{-6}h, \\ &\quad \sigma = \frac{d_i}{2t}p\} \\ C &= \{v_{\min} \leq v \leq v_{\max}, \\ &\quad \sigma \leq \sigma_{\max}\} \end{aligned}$$

図 6 ドメイン制約を変更した設計空間の標準形

Fig. 6 Nominal form of a design space with modified domain constraints.

とき， h を離散値として取り扱えばよい．このときのドメイン制約は $h \in \{500, 600, \dots, 1000\}$ になる．またコスト削減のために標準部品である JIS の配管用合金鋼管¹³⁾を使用すれば， d_o と t の値⁴が離散値となる．これにより，ドメイン制約を $\{d_o, t\} \in \{\{216.3, 8.2\}, \dots, \{406.4, 12.7\}\}$ にできる．これは関係代数¹⁴⁾を用いると， $d_o \in \{216.3, \dots, 406.4\}$ ， $t \in \text{Fmd}(d_o)$ のように表せる．ここで Fmd は，外径から板厚への多値従属性を表す集合値関数である．このとき設計空間は図 6 のようになる．

¹ 満水状態における容器の底部での静水圧（単位：kg/mm²）を容器への内圧荷重としている．

² 外径に比べ薄い板厚を想定し，容器内面の円周方向の引張応力を算出している．

³ 基底属性を最初に決め，設計式を用いて順次，上位属性を決めることもできる．

⁴ d_o は 216.3~406.4 の間に， t は 8.2~12.7 の間にそれぞれ 5 個の値を持つ．

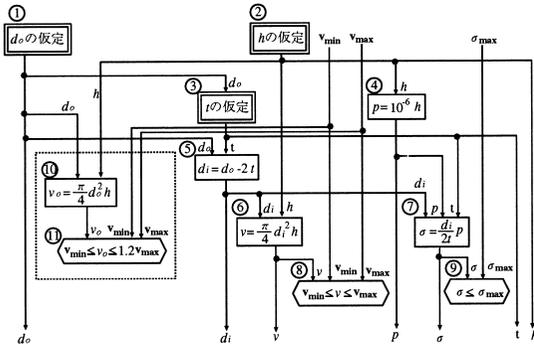


図7 生成検証法のデータフロー図式

Fig. 7 Data flow diagram of a generate and test method.

4. 設計空間の解法

ここでは設計空間の代表的な解法について述べる.

4.1 生成検証法

解析的に解き難い設計問題の場合、設計者は設計案を仮定し、それが設計条件を満たすかどうかを試行錯誤的に探索する. この方法は、基底属性の値を仮定し設計式を用いて上位属性を計算し、各種の設計制約を検証する方法(以下、生成検証法)として一般化できる^{6)~9)}.

以下、図6の設計空間 Ds_2 を例に説明する. Ds_2 の生成検証法による解法をデータフロー図式^{6)~9)}を用いて表現したものを図7に示す. 図中、二重枠は設計属性の値の仮定(以下、仮定生成子)を、一重枠は設計属性の値の計算(以下、関数子)を、六角枠は検証(以下、検証子)を示す. ここでは、仮定生成子、関数子、検証子を総称して、計算ステップと呼ぶ. また各計算ステップ間を結合する矢印は、設計属性である. 一般に仮定生成子と関数子には入力と出力とが、検証子には入力がある. 仮定生成子、関数子、および検証子は、入力属性値から出力属性値を非決定的に仮定する、入力属性から出力属性を一意に計算する、入力属性がある制約条件を満たすかどうかを検証する機能をそれぞれ持つ. 図7中、①、②は、外径 d_o 、高さ h の値をそれぞれ仮定する. ③は、板厚 t を $Fmd(d_o)$ により値を仮定する. ④は高さ h から水深による圧力 p を、⑥は h と d_i から容量 v を、⑦は内径 d_i 、板厚 t 、および水深による圧力 p から容器に発生する

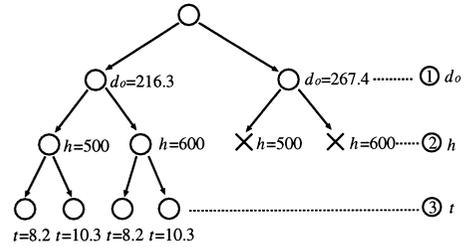


図8 探索木

Fig. 8 Search tree.

応力 σ を、それぞれ計算する. ⑧は容量 v が設計要求を満たすかどうかを、⑨は応力 σ が使用材料の強度を満たすかどうかを、それぞれ検証する. なお図中の破線部は、探索効率の改善のためのものである(4.2節で詳述).

データフロー図式の計算ステップの実行順序は、データのながれを満たせば、一般に任意でよい. ここでは、次の2つの規則で各ステップを全順序に整列して、計算ステップを評価することにする. (1) 検証子、関数子、仮定生成子の順に優先順位を定める. (2) 仮定生成子間には、優先順位をあらかじめ指定する. 今、図7において、仮定生成の優先順位が①、②、③の順とすれば、各計算ステップは①、②(④、⑩、⑪)、③、(⑤、⑥、⑦、⑧、⑨)のように整列できる. なお、括弧内はデータのながれを満たす任意の順とする.

今、簡単のために、 $D = \{ \{d_o, t\} \in \{ \{216.3, 8.2\}, \{216.3, 10.3\}, \{267.4, 9.3\}, \{267.4, 12.7\} \} \}$, $h \in \{500, 600\}$, $v_{\min} = 1.5 \times 10^7$, $v_{\max} = 1.9 \times 10^7$, $\sigma_{\max} = 10$ としてデータフロー図式を評価してみる. 図8は、この例の設計案の生成過程を探索木で表したものである. ここで、初期および仮定生成の後、検証に成功した状態を印、検証に失敗した状態を×印で示す. 同図では、設計案の総数8に対して、設計解の総数が4、探索を途中で打ち切ったものが2であることが分かる.

4.2 生成検証法の効率化

単純な生成検証法では、組合せの爆発を起こすことがある. ここでは、生成検証法の効率化について述べる.

設計制約の追加による方法 1度に生成する基底属性の数を限定し、検証子の実行を優先することにより解探索の計算量を削減できる. このためには、一般に設計制約よりも緩い制約を与えればよいことがある. たとえば、前出の図7では破線部が制約を追加した部分である. ここでは、制約の下限値は外径による容量 v_o が容量 v 以下にならないこと、上限値は過去の設

プラント機器設計の場合、非線形の問題がほとんどである. また設計知識の量が多いが探索量はあまり大きくないため、設計空間の探索の粗さを調整すれば全解探索も可能である. 本論文では、紙数の関係から知識表現言語による表記^{6)~9)}は割愛した.

計事例から容量 v の 1.2 倍の範囲にあること、を仮定した。すなわち、容器の外径による容量 $v_o = \frac{\pi}{4} d_o^2 h$ を計算し、 $v_{\min} \leq v_o \leq 1.2v_{\max}$ を検証している。

設計制約の伝播による方法 上位属性の設計制約を基底属性の制約に移し替えることにより、基底属性の仮定生成の範囲を限定できる。以下、図 7 に示した例を用いて説明する。設計制約 $v_{\min} \leq v_o \leq 1.2v_{\max}$ は、 $v_o = \frac{\pi}{4} d_o^2 h$ を用いて、 $4v_{\min}/d_o^2 \leq h \leq 4.8v_{\max}/\pi d_o^2$ のように変形できる。これを用いると、②の h の値の仮定生成を $h_{\min} = 4v_{\min}/\pi d_o^2$ から $h_{\max} = 4.8v_{\max}/\pi d_o^2$ の範囲に限定できる。4.1 節と同じ手法で実行すると設計案の総数が 8、設計解の総数が 4、探索を途中で打ち切ったものが 1 となる。

4.3 代表的な設計解を探索する手法

設計業務では一般に、設計の容易さ、製作性、コスト、寿命などのバランス¹が良い代表的な解を得られれば十分であるため、全解探索を行わずに代表的な設計解だけを探索することがある。

上位属性の仮定による方法 上位属性に設計制約が与えられるとき、上位属性の値を離散化して仮定し、この値から設計式を逆算して基底属性の値を決定する方法である。以下、6 章で後述する伝熱部の管束設計のうち前出の図 1 (b) に示した伝熱管の内径 d_i と本数 n を決定する設計問題を例に説明する。図 1 ⑤に示した水室に流入してきた流量 g_i の流体は、均等に分配されて伝熱管内を流れる。伝熱管の本数 n は非常に多く、1 本の伝熱管が管内流速に与える影響は小さいため、代表的な設計解だけを探索すれば実用上十分である。まず、この管内を流れる流体の流速 v に設計制約が与えられるため、これを利用してたとえば流速 v' を 1~4 m/s までの 1 m/s おきに仮定する²。次に、 $n' = 4g_i/\pi d_i^2 v'$ のように流速 v' から伝熱管の本数 n' を計算する。さらに、 n' 本を格納できる胴内径を求め、均等なレイアウトを実現したときの本数 n を求める。 v はこのときの管内流速である。

図 9 は、この計算手順を直観的に理解しやすく説明したものである。図中、印は設計変数³の値を仮定することを、破線はある設計変数の値から関数計算により他の設計変数を計算することをそれぞれ表す。

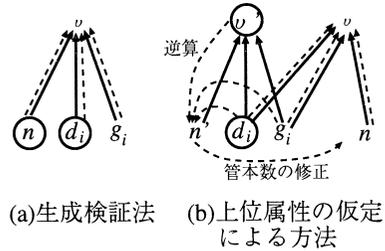


図 9 伝熱管本数の決定

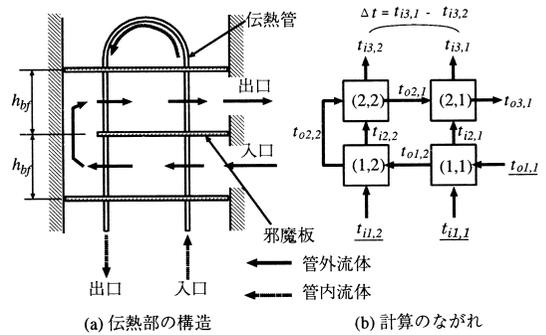


図 10 伝熱部設計

近似解の改良による方法 設計制約が規定された上位属性の値とある基底属性の値が単調な関係にあるとき、基底属性の近似値を設計制約を満たすまで収束させる方法である。

以下、図 10 に示す熱交換器の伝熱部の設計を例に説明する。図 10 (a) は伝熱部の構造と流体のながれを概観したもの、図 10 (b) は計算のながれを模式的に表したものである⁴。ここでは、邪魔板と管内流体のながれの方で分けた領域(以下、区間)を熱交換の単位として計算する。同図 (b) では区間を邪魔板で区切られた段数 m と、管内流体のながれの方を表す記号 n を組み合わせた記号 (m, n) で、また、管内流体および管外流体の入口温度を $t_{im,n}, t_{om,n}$ で表している。

この解法では管内流体の入口温度 $t_{i1,1}$ と管外流体の入口温度 $t_{o1,1}$ が与えられたとき、管内流体の出口温度が $t_{i1,2}$ となるように邪魔板間の間隔 h_{bf} を収束計算する。なお、各段の h_{bf} は同一寸法であり、 h_{bf} と各区間の交換熱量とは単調増加の関係にある。

計算は次のように行う。今、各区間において管内流体および管外流体の入口温度からそれぞれの出口温度を求める関数を f_i, f_o 、また逆に、管内流体の出口温

¹ たとえば、熱交換器では、流体を圧送するポンプを決める管内外流体、コストを決める総重量、寿命を決める管の総本数、設置スペースなどのバランスを検討する。

² 流速 v の下限値はながれが乱流となる流速、上限値はポンプの容量相当の圧力損失となる流速の値である。一般に管内流体が水であれば、1~4 m/s の範囲で設計される。

³ 一般に同じ設計属性に n, n' のように複数個の値を考慮することがある。このとき値の表現 n, n' を設計変数という。

⁴ 流体のながれと計算のながれは一致しない。

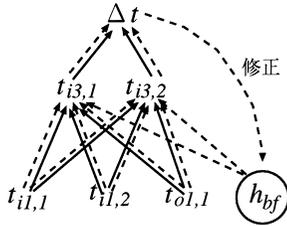


図 11 邪魔板間隔の収束計算

Fig. 11 Convergence computation of spaces between baffles.

度と管外流体の入口温度から管内流体の入口温度および管外流体の出口温度を求める関数を g_i, g_o とすれば、4つの区間における温度は次のように計算できる。

$$\begin{aligned}
 t_{o1,2} &= f_o(t_{o1,1}, t_{i1,1}, h_{bf}) \quad \dots\dots (1) \\
 t_{i2,1} &= f_i(t_{o1,1}, t_{i1,1}, h_{bf}) \quad \dots\dots (2) \\
 t_{o2,2} &= g_o(t_{o1,2}, t_{i1,2}, h_{bf}) \quad \dots\dots (3) \\
 t_{i2,1} &= g_i(t_{o1,2}, t_{i1,2}, h_{bf}) \quad \dots\dots (4) \\
 t_{o2,1} &= g_o(t_{o2,2}, t_{i2,2}, h_{bf}) \quad \dots\dots (5) \\
 t_{i3,2} &= g_i(t_{o2,2}, t_{i2,2}, h_{bf}) \quad \dots\dots (6) \\
 t_{o3,1} &= f_o(t_{o2,1}, t_{i2,1}, h_{bf}) \quad \dots\dots (7) \\
 t_{i3,1} &= f_i(t_{o2,1}, t_{i2,1}, h_{bf}) \quad \dots\dots (8)
 \end{aligned}$$

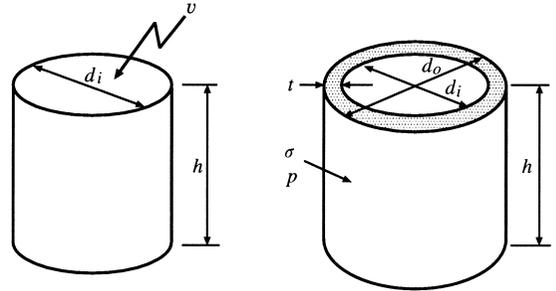
$t_{i3,2}$ と $t_{i3,1}$ は同一温度になる必要があるため、 $\Delta t = t_{i3,1} - t_{i3,2}$ から邪魔板間隔の修正量を求め、 h_{bf} を修正することを所定の精度になるまで反復すればよい。図 11 は、図 9 と同様に、この計算手順を直観的に理解しやすく説明したものである。

5. 設計手順の表現

設計者は複雑な設計問題を解くとき、いくつかの設計問題に分割し、これらを順次に解くことが知られている¹⁵⁾。ここでは、4章に示した設計空間を結合し、設計者の行う設計手順の全体を表現する方法について述べる。

5.1 設計空間の結合

簡単のため、図 12 に示す例を用いて説明する。同図は、図 6 に示した設計問題を 2つの設計空間 D_{s3} と D_{s4} とを用いて表現したものである。 D_{s3} は所定の容量を満足する容器内寸法を、 D_{s4} は発生応力に耐える容器板厚を求めるためのものである。設計空間は次のように解かれる。まず、 D_{s3} を解き、所要の容量を満たす内径 d_i と高さ h の組合せをすべて求める。次にこの解の集合を用いて D_{s4} のドメイン制約に $\{d_i, h\} \in \{D_{s3} \text{ の設計解}\}$ を加え、 D_{s4} を修正して解けばよい。以下、この設計空間の結合関係を 示し、図 13 のように表す。



$D_{s3} = \langle P, D, F, C \rangle$

$$\begin{aligned}
 P &= \{d_i, h, v\} \\
 D &= \{d_i \in \{199.7, \dots, 384.2\}, \\
 &\quad h \in \{500, 600, \dots, 1000\}\} \\
 F &= \{v = \frac{\pi}{4} d_i^2 h\} \\
 C &= \{v_{min} \leq v \leq v_{max}\}
 \end{aligned}$$

(a) 容器内寸法の決定

$D_{s4} = \langle P, D, F, C \rangle$

$$\begin{aligned}
 P &= \{d_o, d_i, t, h, p, \sigma\} \\
 D &= \{d_i \in \text{Real}, h \in \text{Real}, \\
 &\quad t \in F_{mdi}(d_i)\} \\
 F &= \{d_o = d_i + 2t, \\
 &\quad p = 10^{-6} h, \\
 &\quad \sigma = \frac{d_i}{2t} p\} \\
 C &= \{\sigma \leq \sigma_{max}\}
 \end{aligned}$$

(b) 容器板厚の決定

図 12 複数の設計空間による設計問題

Fig. 12 Combining multiple design spaces.

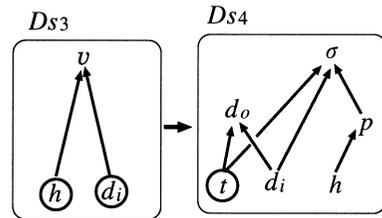


図 13 設計空間の結合

Fig. 13 Combination of design spaces.

5.2 設計空間の結合の種類

設計者は、設計空間の結合に際して設計上の工夫を行っている。ここでは、これを次の3つに分類した。段階的詳細化による結合 設計者は伝熱部設計のような複雑な設計問題を一度に解くことはできない。このため、一度に考察する設計諸元を制限し、機能的側面、強度的側面のように設計案を段階的に詳細化する方法をとる。前出の図 12 では、まず要求された容量から容器の大きさを決め、次に要求された強度から板厚を段階的に詳細化した例である。

設計部位の取り合いによる結合 強度設計では設計者は、設計部位ごとに設計空間を用意し、これらを結合して設計問題を解く。このとき設計空間間の関係は取り合いであることが多い。以下、図 14 に示した貯水容器の設計を例に説明する。図 14 は前出の図 3 に示した胴に、直径 d_o 、板厚 t_c の円板形状の底板を取り付けたものである。

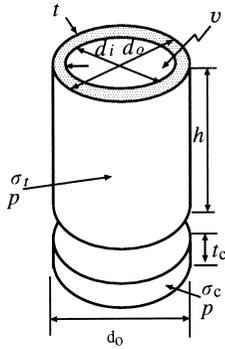
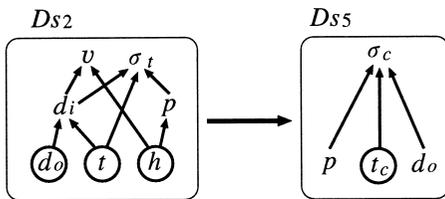


図 14 貯水容器の設計例
Fig. 14 Example of a tank design.



(a) 設計空間間の関係

$DS_2 = \langle P, D, F, C \rangle$ $P = \{d_o, d_i, t, h, v, p, \sigma_t\}$ $D = \{d_o \in \{216.3, \dots, 406.4\},$ $t \in F_{md}(d_o),$ $h \in \{500, 600, \dots, 1000\}\}$ $F = \{d_i = d_o - 2t,$ $v = \frac{\pi}{4} d_i^2 h,$ $p = 10^6 h,$ $\sigma_t = \frac{d_i}{2t} p\}$ $C = \{v_{min} \leq v \leq v_{max},$ $\sigma_t \leq \sigma_{tmax}\}$ (b) 胴設計	$DS_5 = \langle P, D, F, C \rangle$ $P = \{d_o, t_c, p, \sigma_c\}$ $D = \{d_o \in Real,$ $t_c \in \{7.0, \dots, 15.0\},$ $p \in Real\}$ $F = \{\sigma_c = \frac{3d_o^2}{4t_c^2} p\}$ $C = \{\sigma_c \leq \sigma_{cmax}\}$ (c) 底板設計
---	---

図 15 設計部位の取り合いによる関係

Fig. 15 Relation of the scramble for spaces between parts.

この容器は、水深による圧力 p により、胴と底板に発生する応力 σ_t, σ_c に耐える必要がある。今、底板と胴の外径を同一にとれば、胴と底板の 2 つの設計部位ごとに用意した設計空間を用いて、設計問題を解くことができる。まず、図 15 (b) の設計空間 (図 3 に同じ) を解き、解の全体を求める。次に図 15 (c) の設計空間のドメイン制約に $\{d_o\} \in \{DS_2 \text{ の設計解}\}$ を加えて解けばよい。

近似による結合 設計対象を同じ種類の複数の部位に分割して設計できるとき、全体の特徴を代表できる部位を仮定し、設計する。この手法を前出の図 10 に示した伝熱部設計に適用すると、次のようになる。まず各区間の伝熱性能の特徴を代表できる区間 (以下、



図 16 設計空間の結合による設計手順の表現
Fig. 16 Representation of design procedures using combination of design spaces.

代表区間) を仮定し、その交換熱量を求める設計空間を作る。次に、この設計空間から求めた交換熱量で所要の交換熱量を除すれば、所要の段数が求まる。通常、伝熱性能と流体温度は、伝熱部の高さ方向に非線形性の分布であるため、正確な代表区間の選択は難しい。しかし、分布が緩やかであるとき適当に代表部位を仮定し、4.3 節の近似解の改良による方法を適用すれば実用上、満足な解を得ることができる。

5.3 設計手順の表現

5.1 節、5.2 節で述べた設計空間の結合を繰り返すことにより、設計者の行う設計手順の全体を表現することができる。たとえば、前出の図 14 の設計手順を表現すると、図 16 のようになる。

6. 記述実験

まず、本手法の表現能力を確認するために、熱交換器設計のうち表 1 に示す典型的な設計問題を対象に設計知識のモデル化を行った (付録参照)。表中①は複雑な設計計算が必要な U 字型伝熱部設計、②は JIS などの規格に基づき標準部品の組合せ設計を行う耐圧部設計、③は直管を用いた伝熱部設計である。次に知識ベースの構築実験を行った。ここでは、4 章で示したデータフロー図式で記述した設計手順を自然にプログラム化できる設計用言語 DSP を用いた。

6.1 記述実験の経緯

記述実験は、おおむね次のように進めた。

- (1) プロトタイプ作成 著者の 1 人である設計者が、これまでに暗黙に持っていた設計手順を DSP で記述し、プロトタイプを作成した。しかしながら、設計手順が十分に整理されておらず、他の著者には容易に理解できなかった。
- (2) 設計手順の再構成 (1) において作成したプロトタイプを設計空間の概念を用いて、著者らが協同で再

管外、管内流体の平均温度が得られる区間があればそれを選択してもよい。
 表中では、異なる設計空間において同一の意味を持つ設計属性は 1 つとして数えた。
 DSP は設計解の分布をグラフ表示する機能や図面を生成する機能を持ち、設計者が直観的に設計解の特徴を把握できるようになっている。

表 1 記述実験

Table 1 Design experiments.

表現モデル項目	①伝熱部設計	②耐圧部設計	③直管仕様	
設計空間の数	8	7	8	
設計属性の数	254	179	252	
基底属性の数	116	61	115	
仮定生成の数	6	21	6	
解法の適用数	生成検証	4	5	4
	設計制約の追加	0	0	0
	設計制約の伝播	1	0	1
	上位属性の仮定	2	2	2
設計空間間の関係数	近似解の改良	1	0	1
	設計部位	1	6	1
	段階的詳細化	4	0	4
	近似	2	0	2

表 2 設計実績の例

Table 2 Example of the design results.

設計条件	性能 (M Wt)	冷却材 (管内/管外)	流量 (m ³ /h)	入口温度 (°C)	出口温度 (°C)	圧力 (M pa)	伝熱管外径 (mm)	伝熱管板厚 (mm)	本数	段数	伝熱部径 (mm)	伝熱部高さ (mm)	アスペクト比 (高/径)
①	17.1	水	360	93	134	3.5	φ15.9	2.9	336	10	φ675	1590	2.36
		水	211	240	170	3.8							
②	4.7	水	1000	35	39	0.4	φ15.9	1.24	1493	10	φ1350	7680	5.69
		油	565.8	64	46	0.7							
③	0.5	水	120	24	28	0.6	φ15.9	1.24	236	19	φ560	3147	5.62
		油	57	55	40	0.4							

構成し、可読性の向上に努めた。これにより、設計手順の骨格が明らかになった。

(3) 典型的な設計実績を用いた設計実験 設計実績を用いて実際に設計を行い、最適な解が得られているか、探索性能に問題がないかを検討した。すなわち、プログラム中の生成子が設計解に及ぼす感度を調べ、諸元の生成間隔やドメイン制約を調整した。

(4) 適用範囲の検討 (3) で修正したプログラムが、他の設計実績にも適用可能であるかを調べ、作成したプログラムを一般化した。

6.2 記述実験の評価

記述実験の評価を以下にまとめる。

(1) 設計知識の体系的な整理 表 1 中①の伝熱部設計と②の耐圧部設計の設計知識は、設計空間の結合により表現した設計手順により、体系的に整理することができた。また伝熱部設計は、一般に複雑な設計問題と考えられているが、実験の結果では、設計属性の数は多いが、同一の基底属性を取り扱うことが多く、6個の仮定生成により、代表的な設計案をすべて網羅できることが明らかになった。耐圧部設計も同様に設計属性の数は多いが、JIS などの規格製品を使用するため、構造寸法を代表する基底属性を導入することにより、

表 3 求めた設計解の個数

Table 3 The number of the design solutions.

設計条件	①	②	③
U字型伝熱管を使用	12 個	42 個	25 個
直管型伝熱管を使用	29 個	14 個	7 個

21 個の仮定生成により設計案を表現できることが分かった。このように複雑な設計問題の見通しを良くし、理解性を向上させることができた。

(2) 設計知識の部品化による保守性の向上 表中③は、①で作成した U 字型伝熱部設計の設計空間を、他の設計問題でも再利用できることを確認するため、U 字型伝熱管の設計手順を、直管型伝熱管の設計手順へ修正した。この実験では、6つの設計空間が再利用できることが確認できた。これは、U 字型伝熱管と直管型伝熱管での設計問題は特性が近いため計算手法が同一のものが多いこと、設計空間の導入により設計知識が部品化されているため修正すべき設計知識の特定が容易であることによる。このことから設計知識の保守性が向上していることが分かる。

7. 設計実験

6章のプログラムを用いて、設計実験を行い本論文の手法の実用性を評価した。

たとえば、製品寸法の呼び。

表 4 最適解の諸元
Table 4 Optimal solutions.

設計条件	伝熱管外径 (mm)	伝熱管板厚 (mm)	本数	段数	伝熱部径 (mm)	伝熱部高さ (mm)	アスペクト比 (高/径)	
U字型	①	φ19.0	1.24	237	10	φ675	1600	2.37
	②	φ15.9	1.24	1629	10	φ1257	2600	2.07
	③	φ15.9	1.24	311	17	φ675	1700	2.52
直管型	①	φ15.9	1.24	496	10	φ530.8	2600	4.90
	②	φ15.9	1.24	2256	22	φ1350	3080	2.28
	③	φ15.9	1.24	430	21	φ483	2100	4.25

表 5 設計実績と最適解との比較

Table 5 Comparison of the design results and the optimal solutions.

設計条件		熱貫流率 (kcal/m ² h°C)	管内流体圧力損失 (kg/cm ²)	体積 (m ³)	
U字型	①	実績	3491	0.22	0.047
		最適解	4293	0.06	0.025
	②	実績	-	-	-
		最適解	623	0.05	0.23
	③	実績	215	0.05	0.050
		最適解	387	0.03	0.029
直管型	①	実績	-	-	-
		最適解	3109	0.03	0.068
	②	実績	507	0.28	0.58
		最適解	746	0.01	0.39
	③	実績	-	-	-
		最適解	449	0.01	0.046

(1) 設計実験

本論文の手法の実用性を評価するため、表 2 に示した発電プラントの設計実績 3 例について設計実験を行った。表中①は蒸気発生器などに使用する冷却水を加熱する水予熱器，②，③は回転機械の潤滑油の冷却器である。①，③は U 字型，②は直管型である。

設計解は、1) 所定の伝熱性能を満足すること、2) ポンプ容量から制約される管内、管外の圧力損失¹の制限を満足すること、3) 所定のアスペクト比²を満足すること、4) 伝熱管の総重量と邪魔板間の段数³とが最小値でありコスト的にも最適であること、の 4 条件を満足する必要がある。この設計実験の結果、表 2 の設計条件を満足する解は、仮定生成子 6 個をそれぞれ 10 程度の代表値で計算しても十分であることが分かった。このときの設計解の個数を表 3 に、最適解の

¹ ここでは、通常選択されているポンプの容量から 1 kg/cm² 以内と設定した。

² ここでは、本体胴の外径と伝熱部高さの縦横比をアスペクト比と呼ぶ。

³ 邪魔板が 10 段以下であると管外流体のながれは、各段ごとに均等な折流の状態とならない。そのため、ここでは、最小でも 10 段以上の制約条件とした。

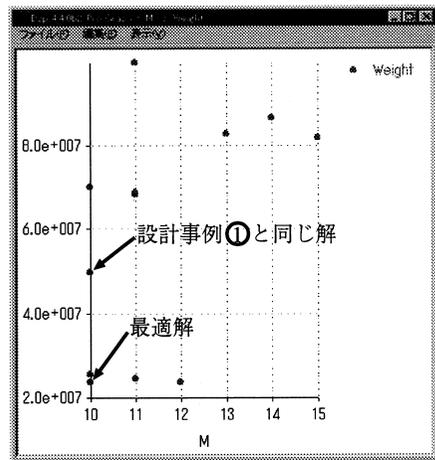


図 17 邪魔板間段数と伝熱管体積

Fig. 17 The number of spaces between baffles vs. tube volume.

諸元を表 4 に示す。

(2) 設計実績との比較

ここでは求めた設計解の分布から最適解を選び、設計実績⁴と比較、検討を行う。表 5 は、性能にかかわる熱貫流率⁵と管内流体圧力損失、およびコストにかかわる伝熱管の体積について、設計実績と最適解とを対比したものである。これらの値を比較すると最適解の方が優れていることが分かる。また本手法では、解の分布が利用できるため、所要の伝熱性能、管内外流体の圧力損失、設置スペース、および伝熱管体積などから設計解を簡単に比較できる。図 17 は、設計条件①の解の分布であり、X 軸に邪魔板間段数、Y 軸に伝熱管体積をとった。ここで邪魔板間段数が少なく伝熱管体積が少ないものがコスト上有利な解となる。このように設計解の分布から最適解を容易に得られることが確認できた。この最適解の横断面図と縦断面図を作

⁴ 問題向け CAD による計算や設計者の手計算と解析プログラムによるものである。

⁵ 熱抵抗の逆数。熱のながれやすさを表す。

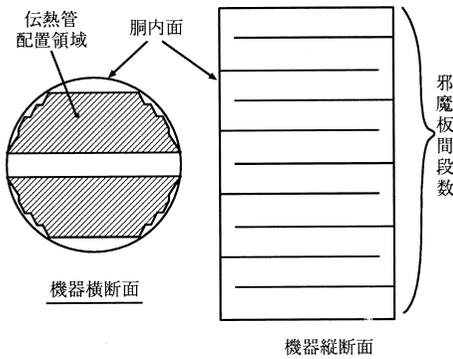
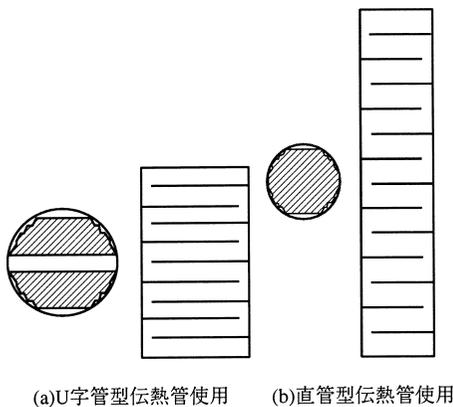


図 18 最適解

Fig. 18 Optimal solution for the experiment.



(a)U字管型伝熱管使用 (b)直管型伝熱管使用

図 19 U 字管型と直管型伝熱管使用の最適解比較

Fig. 19 Comparison of the optimal solutions for U tube type and direct tube type.

図すると、図 18 のようになる。

次に異なる機器型式(直管型)を用いた設計実験を行った(表 4, 5 参照)。図 19 に、設計条件①における 2 つの型式の最適解を選び、それぞれ横断面図と縦断面図とを図示した。両者は、アスペクト比が大きく異なることが分かる。経験的には、アスペクト比が 3 程度の熱交換器の方が最適解になることが知られている。このことは、表 5 の直管型の最適解と比較して U 字型の方が伝熱管体積が 6 割程度低いことから確認できる。また、設置スペースの制約が厳しい場合には、直管型伝熱管を使用することもある。このように、機器型式の相違による最適解の比較も容易にできることが確認できた。

設計実験の結果は次のように整理できる。

(1) 問題向け CAD を使った設計では 1 つの設計解、また従来の手作業による設計では数個の設計解しか得られなかった。本手法では、設計解の分布を短時間で求めることが可能となり、表 5 と図 17 に示したよう

に、設計実績と比較しても遜色ない良質な設計解が存在することが分かった。

(2) 受注品ごとに設計条件が異なるため、設計者による試行錯誤の作業が多く、従来の設計では、1 つの設計解を求めるのに数日必要であった。本手法を用いた設計では、設計条件が変化しても、すぐに複数の代案を発生させることができるため、個別に対応することができる。このことにより設計業務の生産性を向上させることができる。

(3) 設計解の分布を知ることにより、発見的知識が獲得できるようになった。これにより、新人設計者への教育も容易になると考えられる。

8. おわりに

本論文では、新しい設計手法の基礎となる知識表現モデルを提案した。この手法は、記述実験や設計実験により、設計技術の移転や生産性の向上に効果があると考えられる。今後、熱交換器以外の機器設計を対象に、本論文の知識表現を用い、新しい設計手法の提案や実験による有効性の実証を行う必要がある。さらに、基本設計では、設計計算と目視確認が交互に行われるため、計画図の編集と設計計算を有機的に結合した設計支援システムを整備する必要がある。

参考文献

- 1) 吉川弘之：テクノグローブ，工業調査会 (Dec. 1993).
- 2) 沖野教郎：自動設計の方法論，養賢堂 (1982).
- 3) 長澤 勲：設計エキスパートシステム，情報処理，Vol.28, No.2, pp.187-186 (1987).
- 4) 長澤 勲，鈴木宏正：知的 CAD 研究・開発への提言，精密工学，Vol.60, No.4, pp.483-486 (1994).
- 5) 吉川弘之，富山哲男(編)：インテリジェント CAD，朝倉書店 (1989).
- 6) 手越義昭，長澤 勲，前田潤滋，牧野 稔：建築物設計における小規模な組合せ選択問題の一解法，日本建築学会計画系論文報告集，No.405, pp.157-165 (1989).
- 7) 長澤 勲，前田潤滋，手越義昭，牧野 稔：建築設計支援システムにおける小規模な組合せ選択問題のためのプログラミング手法，日本建築学会構造系論文報告集，No.417, pp.157-166 (1990).
- 8) 梅田政信，長澤 勲，樋口達治，永田良人：設計計算のプログラム書法，信学会，人工知能と知識処理 11 月研究会 (AI) (1991).
- 9) Umeda, M., Nagasawa, I. and Higuchi, T.: The Elements of Programming Style in Design Calculations, Proc. 9th International Conference on Industrial and Engineering Applica-

tions of Artificial Intelligence and Expert Systems, pp.77-86 (1996).

- 10) 尾花英朗：熱交換器設計ハンドブック，pp.393-407，工学図書（1974）.
- 11) 長澤 勲，伊藤公俊：属性モデリング，シミュレーション，Vol.10，No.2，pp.110-118（1991）.
- 12) 日本規格協会：JISハンドブック鉄鋼，JISG3193，pp.788-793（1993）.
- 13) 日本規格協会：JISハンドブック配管，JISG3458，pp.369-376（1993）.
- 14) 増永良文：Information and Computing-43 リレーショナルデータベース入門—データモデル・SQL・管理システム，サイエンス社（1995）.
- 15) Szykman, S. and Cagan, J.: A COMPUTATIONAL FRAMEWORK TO SUPPORT DESIGN ABSTRACTION, *Design Theory and Methodology*, DE-Vol.42, pp.27-39, ASME (1992).

付 録

伝熱部設計

設計空間間の関係を図 20 に示す．図中の DS_a は，流速制約を満足する伝熱管の内径と本数を決定する． DS_b は，管内流体の圧力により発生する応力が許容応力を超えない管の板厚を決定する． DS_c は，管の外径と本数から，収納できる本体胴の内径を決定する． DS_d は，邪魔板の切り欠き部を通過する管外流体の流速が，所定の流速制約を満足するよう流路の面積を決定する． DS_e は， DS_d で決定した切り欠き部の流速と一致する邪魔板間間隔を決定する． DS_f は，全体的な性能を表す特徴的な部位を選び，交換熱量を求める． DS_g は， DS_f で求めた交換熱量から所定の伝熱性能となる部位数を求める． DS_h は，前手順までに決定した伝熱部の構造に流体の入口温度を与えて，各部位ごとの伝熱の特性値を求め，所定の性能が得られることを確認する．

耐圧部設計

設計空間間の関係を図 21 に示す．同図中の $DS_i \sim DS_o$ すべてが，流体の圧力により発生する応力が許容応力を超えない板厚を含む構造寸法を決定するものである．ここで， DS_i は，図 20 で求めた本体胴の内径を基に板厚を決定している．この設計空間は，図 12 で説明した． $DS_j \sim DS_m$ は， DS_i で決定した本体胴の外径と同一の寸法で取り合うことを条件に，それぞれの構造寸法を決定している． DS_n と DS_o では， DS_m で決定した水室胴の外径，板厚と同一の寸法で取り合

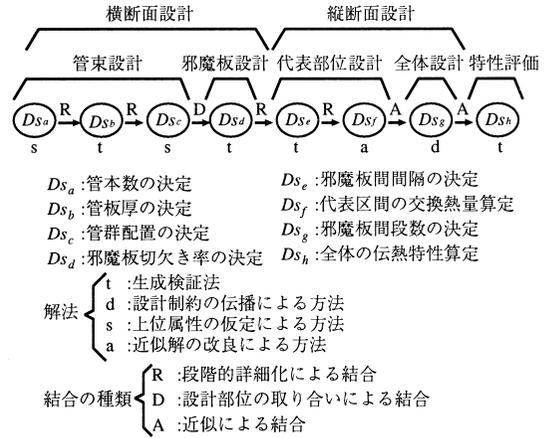


図 20 伝熱部設計の設計空間間の関係
Fig. 20 Relationship between the design spaces of heat and mass transfer parts design.

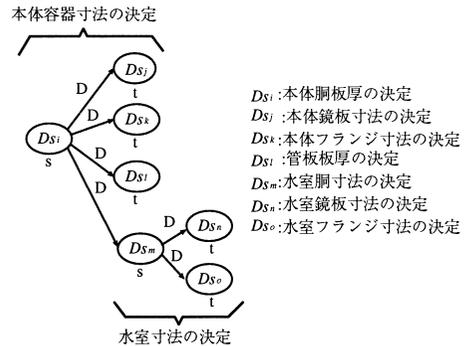


図 21 耐圧部設計の設計空間間の関係
Fig. 21 Relationship between the design spaces of pressure resistant parts design.

うことを条件に，それぞれの構造寸法を決定している．
(平成 12 年 1 月 5 日受付)
(平成 12 年 9 月 7 日採録)



山口 秀行

1959 年生．1982 年長崎総合科学
大学工学部機械工学科卒業．同年長
菱設計株式会社入社，原子力発電プ
ラントの機器設計に従事．現在，九
州工業大学大学院情報工学研究科博
士後期課程在学中．知識表現，設計支援システムに関
する研究に従事．

採用した熱伝達率の算出式の適用条件である．



長澤 勲(正会員)

1944年生。1967年九州大学工学部電子工学科卒業。1972年同大学院工学研究科博士課程単位取得退学。1972年九州大学中央計数施設講師。現在、九州工業大学情報工学部教授(機械システム工学科)。工学博士。知識情報処理の立場からCAD/CAM, ロボット, 医療システム等の研究開発に従事。人工知能学会, 日本建築学会, 精密工学会, 電子情報通信学会, 日本機械学会, 日本設計工学会, 日本ロボット学会各会員。



梅田 政信(正会員)

1959年生。1982年九州大学理学部物理学科卒業。1984年同大学院工学研究科修士課程修了。1984年富士通株式会社。1989年長崎県北工業技術センター。現在、九州工業大学情報工学部助手(機械システム工学科)。知識処理の立場から設計支援システム等の研究開発に従事。精密工学会会員。



望月 雅光(正会員)

1968年生。1991年近畿大学九州工学部経営工学科卒業。1996年九州工業大学大学院情報工学研究科博士後期課程修了。博士(情報工学)。現在、九州工業大学情報科学センター助手。知識情報処理の立場から設計支援システムの研究に従事。人工知能学会, 日本経営工学会各会員。



章 志華(正会員)

1964年生。1987年中国合肥工業大学コンピュータ応用専攻卒業。1990年同大学院修士課程修了。同年安徽対外貿易計算機センター入社。1998年山陽女子短期大学講師。現在、九州工業大学大学院情報工学研究科博士後期課程在学中。知識表現, 知的CAD, 設計支援システムに関する研究に従事。