

標準部品にかかわる技術情報流通のための知識表現モデル

梅田 政信[†] 長澤 勲[†] 伊藤 公俊^{††,☆}

法規や規格、製品カタログは、設計に不可欠な技術情報である。本論文では、これらの技術情報を設計支援システムで利用可能な記述形式で配布するための知識表現モデルを提案する。このモデルは次の特徴を持つ。(1) 部品の寸法や材料の物性値など、機械設計に多用される標準部品にかかわる諸元間の関係を主たる表現対象とする。(2) 規格などの一般性の高い情報を表現する標準クラスと、製品に関する情報を表現する製品クラスの2種類の表現単位を持ち、両者の役割と機能を明確に区別した。これにより、複数の製品製造者から提供される技術情報の相互運用性を高めると同時に、製造者による表現内容の拡張を可能にした。(3) 複数の部品の組からなる組合せ部品では、部品を指示する製品識別データを用いて部品間の関係を表現することで、部品情報を一元的に表現できる。本論文で提案した知識表現モデルに基づく記述言語を規定し、記述実験を行った。この結果、JIS規格および製品カタログを記述可能なこと、この記述結果を設計計算に適用可能なこと、および技術情報の流通上重要な相互運用性と拡張性とを両立できることを確認した。

Knowledge Representation Model for Engineering Information Circulation of Standard Parts

MASANOBU UMEDA,[†] ISAO NAGASAWA[†] and MASATOSHI ITO^{††,☆}

Engineering information, such as regulations, standards, and product catalogues, is essential in design tasks. This paper proposes a knowledge representation model of the engineering information for circulation in a form usable from design support systems. The model has the following features: (1) It is intended to represent relationships between attributes, such as dimensions of parts and characteristics of materials, which are related to standards parts. They are frequently used in mechanical design. (2) The model has two representation units; "standard class" for representing general information such as standards and "product class" for representing information about products, and their roles and functions are clearly distinguished. This feature improves interoperability of the information provided by multiple products suppliers, and allows extensibility of the information by the products suppliers, simultaneously. (3) Information about a subpart involved in a bundled part consisting of several subparts can be represented centrally by describing relationships between subparts using "product identifier" specifying the subpart. Description experiments have been done using a description language based on the proposed model. The result shows that JIS standards and product catalogues can be described, the descriptions can be applied to design calculation problems, and both interoperability and extensibility can be satisfied simultaneously.

1. はじめに

知的設計支援システム^{1),2)}は、客先要求の多様化と高度化により複雑化した設計業務を改善し、設計品質

と設計業務の生産性を同時に向上する手段として期待されている。知的設計支援システムの実現には、設計対象の知識を分析、整理し、記述することが不可欠である。従来、標準部品にかかわる設計対象の知識は、法規、規格、製品カタログ等により系統的に整理する努力が払われ、設計者が設計作業に際して使用する技術的資料として発展してきた。これを前述の知的設計支援システムで使用するには、機械可読な形式で体系的に記述する必要があるが、その表現技術は未整備である。

このような背景から、著者らは、国や業界団体等で広く共有可能な技術情報を公的知識^{1),3)}と呼び、これを

[†] 九州工業大学情報工学部

Faculty of Computer Science and System Engineering,
Kyushu Institute of Technology

^{††} 東京工業大学総合理工学研究科

Department of Precision Machinery and System Engineering,
Tokyo Institute of Technology

[☆] 現在、埼玉工业大学工学部機械工学科

Presently with Department of Mechanical Engineering,
Faculty of Engineering, Saitama University

機械可読な記述形式で配布するための標準化活動^{3)~6)}を行い、JIS 原案「CAD 用技術情報の記述形式」⁷⁾を提案している。本論文では、この記述形式の設計の基礎となる知識表現モデルについて述べる。

一般に機械設計では、所要の機能諸元^{*1}から構造諸元^{*2}を決定する設計作業において、標準部品にかかわる諸元間の関係^{*3}を多用する。従来、機械設計に関する技術情報の表現手法は、製品のデータ集配布のための電子カタログ⁸⁾、製品情報交換のための STEP⁹⁾、および部品ライブラリ交換のための P-LIB¹⁰⁾が提案されているが、標準部品にかかわる諸元間の関係の体系的な表現手法は未整備である。

本研究では、標準部品にかかわる諸元間の関係（以下、標準部品にかかわる技術情報）^{*4}を体系的に表現するために、従来未整備であった知識のモデル化を行い、知識表現モデルが持つべき機能と構造を明らかにした。この知識表現モデルに基づき記述実験を行った結果、JIS 規格および製品カタログを記述可能なこと、この記述結果を設計計算に適用可能なこと、および流通上重要な相互運用性と拡張性とを両立できることを確認した。

2. 研究の背景

機械設計の手順は、設計対象や設計者によって異なり一般的なものとしてとらえることは困難であるが、設計作業は次の2つに大別できる^{11)~13)}。1つは、(P1) 設計対象の概略構造を仮定した後、所要の機能諸元から逆問題^{*5}を解くことにより、構造諸元を決定する作業である。他方は、(P2) この結果得られた構造を目視により編集、評価する作業である。締結用ボルトの設計例を用いて、2つの設計作業の概要を付録 A.1 に説明した。畑村は、機械等の設計支援に必要な機能として、(F1) (設計者が構造諸元を) 決定するための情報を与える機能、(F2) 決定作業を補助する機能、および (F3) 決定作業の内容を図などの形で表現する機能

の3つをあげている¹⁴⁾。この分類では、(F1)、(F2) は (P1) を支援する機能、(F3) は (P2) を支援する機能といえる。

さて、(P1) では、機能諸元から逆問題を解く際に、部品の寸法や性能、材料の物性値など諸元間の関係を多用する。一般に機械設計では、信頼性やコストの面から標準部品^{*6}を好んで使用する。また、標準部品として供給されるとは限らないが、材料の物性や歯車の寸法のように部品の性質の一部を法規や規格として標準化しているものも多い。したがって、(P1) の支援には、法規や規格、製品カタログ等に規定された標準部品にかかわる技術情報を、体系的に整理された機械可読な形式で提供する必要があり、これが (F1) に期待される役割の1つと考えられる。

従来、標準部品にかかわる技術情報は、規格票や製品カタログといった印刷物の形態で流通してきた。電子カタログ⁸⁾は、製品カタログの一部を製品のデータ集や図集として、電子媒体を使って配布する試みであるが、表現内容や記述形式が不統一で、用途もまちまちである。このため、(P1) にこれを利用するのは困難である。

一方、関係データベースやオブジェクト指向データベースを用いたデータ交換には、記述形式の標準化の提案¹⁵⁾等がある。しかし、これらのデータモデルに対し、標準部品にかかわる技術情報の流通に特化した体系的な表現手法は提案されていない。

STEP (Standard for the exchange of product model data)⁹⁾は、設計から加工・組立、検査に至る製品のライフサイクル全般において必要とされる、機械可読な製品情報の表現（以下、製品モデル）およびその交換の体系である¹⁶⁾。したがって、(P1) や (P2) の結果作られる製品情報の多くは STEP で表現できるが、(P1) に必要な標準部品にかかわる技術情報や (P2) に必要なパラメトリックな部品形状などの表現は STEP の範囲を超える^{*7}。

P-LIB (Parts Library)¹⁰⁾は、STEP の関連規格として標準化作業が並行して進められている、部品ライブラリ交換のための体系である。P-LIB は、オブジェクト指向モデルに基づく表現モデル¹⁸⁾を基礎とし、本論文で提案するモデルと最も関連が深い¹⁸⁾が、(P2) に

*1 設計温度や設計圧力など設計条件を表すパラメータ。

*2 寸法や材質など設計対象の構造を表すパラメータ。

*3 たとえば、JIS の六角ボルトは、ねじの呼びと呼び長さからその寸法が、また使用材料からその機械的性質が決定される。

*4 標準部品にかかわる諸元間の関係に加えて、諸元や説明資料等の付加的な情報も必要である。本論文では、これらを含めた広い意味で“標準部品にかかわる技術情報”という用語を用いている。また、情報提供者の識別情報など、流通のためにはさらに付加情報が必要であるが、これについては本論文では触れない。

*5 設計対象の構造が定まった後に性能等の機能諸元を求める問題は解析的に解けるが、逆に所要の機能諸元から構造諸元を決定する問題は、一般に非線形で解析的に解けないので、経験や勘に頼って試行錯誤的に行われることが多い。

*6 標準部品の一般的な定義は定まっていないが、ここでは統一化、単純化を図る目的で規格や業界標準等で規定されている部品を指す。

*7 ただし、STEP の形式的アータ仕様記述言語 (formal data specification language) EXPRESS¹⁷⁾は、本論文で提案する知識表現モデルに基づいた技術情報の表現にも適用できる。

必要なパラメトリックな部品形状などを主な表現対象としている。このため、(P1)に必要な標準部品にかかわる技術情報の表現手法は不備である。

3. 知識表現モデルの要件

知識表現モデルの要件を以下に述べる。

知識表現の対象 知識表現モデルは、部品の寸法や材料の物性値など、機械設計に多用される標準部品にかかわる諸元間の関係を知識表現の対象とする^{*1}。部品の形状や構造は、ここでの対象としない^{*2}。

一貫性制約の表現 データの誤りや誤用は、設計結果の不具合や使用者への重大な損害を招く。したがって、標準部品にかかわる技術情報の作成、配布、利用において、記述内容の一貫性を維持することは重要である。ここでは、一貫性制約としてドメイン制約と従属性制約とを扱う。

相互運用性 標準化の進んだ製品では、仕様が類似して可換な製品（以下、相当品）が複数の製造者で作られることがある。このような場合、一般に設計では、複数の相当品の中から価格や納期等を比較し、最適なものを選択する。したがって、複数の相当品の情報を容易に組み合わせて利用できる必要がある。これには、データ標準化¹⁹⁾により用語、単位、データ型等が統一され、さらに同一のデータ操作^{*3}が適用可能なように一貫性制約も統一されていること（以下、相互運用性）が望ましい。

表現内容の拡張性 ボルトの線膨張率など通常の用途に不要な情報は、利用者が必要に応じて製造者に問い合わせるのが普通である^{*4}。このような付加的な情報交換は、製造者にとって製品や顧客サービスの差別化に重要であり、これを同じ枠組みで扱えることが望ましい。したがって、知識表現モデルは、製品の製造者が諸元情報を独自に追加できる、表現内容の拡張性が必要である。ただし、この機能は、相互運用性を高めるための機能と矛盾してはならない。

組合せ部品の表現 ボルト・ナット対のように、いくつかの部品の組からなる組合せ部品^{*5}は、その部品

（たとえば、ボルトやナット）が単独の製品として流通することがある。このような場合、組合せ部品とその部品とを相互に無関係に表現すると、両者間の整合性が問題となる。このため、部品情報を各部品ごとに一元的に表現し、部品の組合せ関係のみを組合せ部品で表現できることが望ましい。

4. 知識表現モデル

ここで提案する知識表現モデルは、関係データモデルとオブジェクト指向モデルを参考に、標準部品にかかわる技術情報を体系的に表現するために特化したものである。

4.1 準備

ここでは、知識表現モデルの説明上必要ないくつかの用語を関係データベースの概念に基づいて定義する^{*6}。

データ型 データ型 T は、用途や単位等により、ある目的^{*7}をもって分類された表現可能な値の集合とし、互いに素とする。データ型は、必要に応じて別途定義する^{*8}。また、必要に応じて任意のデータ型の直積上に関数 f を定義できるとする。

属性 属性 p は事物の性質や状態を示す。属性 p のとる値のデータ型が T であるとき、これを $p : T$ と表す。

リレーション 属性 $p_i (1 \leq i \leq n)$ を $p_i : T_i$ で定義される属性とするとき、属性 p_1, p_2, \dots, p_n を持つリレーション R は直積 $T_1 \times T_2 \times \dots \times T_n$ の部分集合とし $R(p_1, p_2, \dots, p_n)$ と表す。 $d_1 \in T_1, d_2 \in T_2, \dots, d_n \in T_n$ のとき、直積 $T_1 \times T_2 \times \dots \times T_n$ の元を $t = (d_1, d_2, \dots, d_n)$ と表しタプルと呼ぶ。また、 $X \subseteq \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ のとき、リレーション R およびタプル t の X に対する射影を各々 $R[X], t[X]$ と表す。

スキーマ リレーション R を属性集合 $P = \{p_i | p_i : T_i, 1 \leq i \leq n\}$ を持つリレーションとし、 $X \subseteq P, Y \subseteq P, Z = P - (X \cup Y)$ とするとき、スキーマは次のような属性間に成り立つ普遍的な性質（制約）をいう^{*9}。ここで \Rightarrow は論理的含意を表す。

^{*1} 材料の物性値やねじのねじ部の諸元などは、部品とは独立した規格に規定されていることが多い。このような、標準部品とは独立な諸元間の関係も含む。

^{*2} 諸元間の関係からパラメトリックに部品の形状や構造を生成し製品モデルを定義する手法も考えられるが、本論文では触れない。

^{*3} たとえば、複数の製造者からの相当品の情報を併合すること。

^{*4} ボルトを温度差が激しい場面で使用する場合には、被締結要素との膨張率の違いで締付力が変化して壊れることがあるので、線膨張率が特別に必要になる。

^{*5} 製品の内部構造ではなく、部品の組合せ関係に表現の中心があるので、この用語を用いている。

^{*6} 表記法は文献20)に基づく。

^{*7} たとえば、製品番号を表す整数値と歯車の歯数を表す整数値とは、異なるデータ型に属すると考える。したがって、データ型は関係データベースにおけるドメインの概念に近い。

^{*8} 構造を持つデータ型は本論文の範囲を超える。

^{*9} 関係データベースにおけるスキーマがデータベースの時間的に不変な構造を表すのに対し、本論文におけるスキーマは、リレーションの持つ属性間に成り立つ時間的に不変な制約を意味している。

関数従属性スキーマ $FDS(X, Y)$ は, X から Y への関数従属性が存在することを表す従属性制約である. すなわち,

$$FDS(X, Y) \equiv (\forall t, t' \in R)(t[X] = t'[X] \Rightarrow t[Y] = t'[Y])$$

多値従属性スキーマ $MDS(X, Y)$ は, X から Y への多値従属性が存在することを表す従属性制約である. すなわち,

$$MDS(X, Y) \equiv (\forall t, t' \in R)(t[X] = t'[X] \Rightarrow ((t[X \cup Y], t'[Z]) \in R \wedge (t'[X \cup Y], t[Z]) \in R))$$

制約関係スキーマ $CRS(f(X))$ は, X に対して論理的關係 f が成立することを表すドメイン制約である. すなわち,

$$CRS(f(X)) \equiv (\forall t \in R)f(t[X])$$

ただし, $X = \{p_{i_j} | p_{i_j} : T_{i_j}, 1 \leq i_1 < i_2 < \dots < i_k \leq n\}$ とするとき $f : T_{i_1} \times T_{i_2} \times \dots \times T_{i_k} \rightarrow \text{boolean}^{*1}$.

識別属性スキーマ $IDS(X)$ は, 意味的に定義されるスキーマで, 形式的に定義することは困難なので, 4.4.1 項で詳述する.

4.2 クラスと継承機構

4.2.1 クラス

一般に, ボルトやナット, 材料等に関する諸元間の関係は, 複数の規格や製品カタログなどに散在し, 断片的に規定されている. この断片的な諸元間関係の表現を基本的な単位とし, これをクラス^{*2}と呼ぶ. クラスは, それを特徴づける属性集合 P , 属性集合 P 上で普遍的に成り立つ性質^{*3}を表すスキーマ集合 S , および属性集合 P の属性間関係を与えるリレーション R からなり $C(P, S, R)$ と表す.

例として, JIS B 0205²¹⁾に規定されているメートル並目ねじ^{*4}のクラス MC-SCREW を示す. クラス MC-SCREW は, 図 1 に示す諸元を属性として, たとえば次のように定義できる.

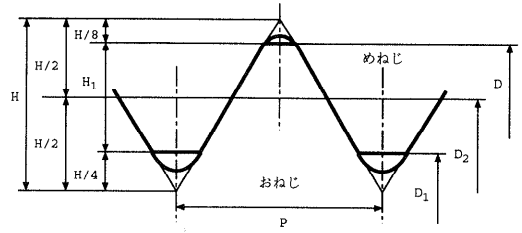


図 1 メートル並目ねじの基準山形
Fig. 1 Basic profile of metric coarse screw thread.

MC-SCREW =

$$C(P_{mcs}, S_{mcs}, R_{mcs}(d, P, H_1, D, D_1, D_2, \dots))$$

ただし,

$$P_{mcs} =$$

$$\{d, P, H_1, D, D_1, D_2, \dots\}$$

$$S_{mcs} =$$

$$\{FDS(d, \{P, H_1, D, D_1, D_2, \dots\}), CRS(0.25 \leq P \wedge P \leq 6.0), CRS(H_1 \simeq 0.541266 \times P), \dots\}$$

$$R_{mcs} =$$

$$\{(M1, 0.25, 0.135, 1.0, 0.729, 0.838, \dots), (M1.1, 0.25, 0.135, 1.1, 0.829, 0.938, \dots), \dots\}$$

ここで, リレーション R_{mcs} は, JIS B 0205 に規定された基準寸法を表す. 関数従属性スキーマ $FDS(d, \{P, H_1, D, D_1, D_2, \dots\})$ は, ねじの呼び d^{*5} (たとえば M1) からピッチ P , ひっかかりの高さ H_1 , 外径 D , 谷の径 D_1 , 有効径 D_2 などが一意に決まるこの規格の性質から与えられる. 制約関係スキーマ $CRS(0.25 \leq P \wedge P \leq 6.0)$ は, P が 0.25 以上, 6.0 以下の値をとること, $CRS(H_1 \simeq 0.541266 \times P)$ は, H_1 が $0.541266 \times P$ とある有効桁数の範囲で等しいことを表すドメイン制約である. リレーション R_{mcs} は, これらの制約を満たさなければならない.

4.2.2 汎化と継承

クラスは, 繰り返し用いられる属性集合, スキーマ集合, およびリレーションを一元的に管理して記述の利便性を高めるために, 木構造の階層で構成する. 階層関係にあるクラス間では, 上位のクラス $C(P, S, R)$ が持つ情報 P, S, R を下位のクラスが継承し利用できる. ただし, クラス $C_{sup} = C(P_{sup}, S_{sup}, R_{sup})$ とクラス $C_{sub} = C(P_{sub}, S_{sub}, R_{sub})$ において, C_{sup} が C_{sub} の上位のクラスならば, 次の関係を満たすとする.

$$(1) P_{loc} \cup P_{sup} = P_{sub}$$

$$(2) P_{loc} \cap P_{sup} = \emptyset$$

*1 boolean は論理型を表す.

*2 本論文におけるクラスは, 情報の表現単位を意味し, 物理的, 論理的なものを抽象化した概念を表すオブジェクト指向言語やオブジェクト指向データベースにおけるクラスとは必ずしも一致しない.

*3 すなわち, リレーション R の持つ属性間に成り立つ時間的に不変な制約.

*4 ねじ部の諸元は, ボルトやナット, ねじ式継手などのねじ部品に共通する性質なので, ねじ部単独で 1 つの規格として制定されている.

*5 呼びとは, 対象物の大きさや機能を代表するもの.

$$(3) S_{loc} \cup S_{sup} = S_{sub}$$

$$(4) S_{loc} \cap S_{sup} = \emptyset$$

$$(5) R_{loc} * R_{sup} = R_{sub}$$

ここで、 P_{loc} , S_{loc} , R_{loc} は、他のクラスから継承していない C_{sub} に固有な属性集合、スキーマ集合、およびリレーションを表し、 S_{loc} , R_{loc} は P_{sub} の任意の部分集合上に定義されているとする。また、* は自然結合 (natural join)^{☆1}を表す。ただし、 $R * \emptyset = \emptyset * R = R$ とする。

(1) は、クラス C_{sub} の属性集合 P_{sub} が、そのクラスに固有な属性集合 P_{loc} と上位のクラス C_{sup} の属性集合 P_{sup} との和集合であることを表し、(2) は、上位のクラス C_{sup} で定義された属性を下位のクラス C_{sub} で重複して定義できないことを表す^{☆2}。(3)、(4) はスキーマに関する同様の関係である。スキーマが上位のクラスから下位のクラスに継承されることから、上位のクラスのスキーマは、下位のクラスで定義されるリレーションに対する制約として働く。また、(5) は、クラス C_{sub} のリレーション R_{sub} が、そのクラスに固有なリレーション R_{loc} と上位のクラス C_{sup} のリレーション R_{sup} との * 演算で表されることを表す。

クラス C_{sub} がクラス C_{sup} から継承しているとき、クラス C_{sub} をクラス C_{sup} の下位クラス、クラス C_{sup} をクラス C_{sub} の上位クラスと呼び、 $C_{sup} \succ C_{sub}$ と表す。クラス C_{sub} がどのクラスからも継承していないときに、これを最上位クラスと呼び、 $T \succ C_{sub}$ で表す^{☆3}。

下位クラスはその上位クラスとの差分によって表現できるから、継承を陽に用いて C_{sub} を表すときは次のように表現する。

$$C_{sub} = C(P_{sub}, S_{sub}, R_{sub}) \\ = C'(C_{sup}, P_{loc}, S_{loc}, R_{loc})$$

例として、図 2 に示す呼び径六角ボルト²²⁾ (以下、六角ボルト) のクラスを示す。六角ボルトは、精度特性の違いにより A, B, C の 3 種類の部品等級^{☆4}に分けられ、形状諸元の一部が各々異なる。そこで、部品等級とは独立な属性集合、スキーマ集合、およびリレーションを持つクラス HEX-BOLT を上位クラスとし、各部品等級に固有な属性集合、スキーマ集合、お

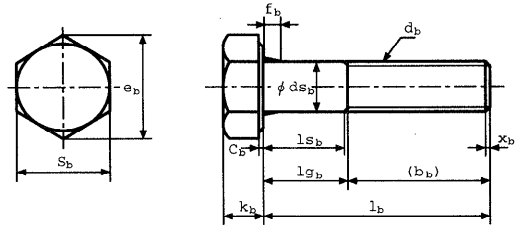


図 2 六角ボルトの形状の例
Fig. 2 Configuration of a hexagon head bolt.

よびリレーションを持つクラスをその下位クラスとして各々定義する。クラス HEX-BOLT は、たとえば次のように定義できる^{☆5}。

$$\text{HEX-BOLT} = C'(T, P_{\text{bolt}}, S_{\text{bolt}}, \emptyset)$$

ただし、

$$P_{\text{bolt}} = \{TC_b, d_b, l_b, SC_b, \dots\}$$

$$S_{\text{bolt}} = \{MDS(TC_b, d_b),$$

$$MDS(\{TC_b, d_b\}, l_b), \dots\}$$

属性集合 P_{bolt} は、部品等級 TC_b 、ねじの呼び d_b 、すべての部品等級に共通する形状諸元 (たとえば、呼び長さ l_b など)、および強度区分 SC_b ^{☆6}からなる。これらの属性間の関係は、各部品等級ごとに異なるので、クラス HEX-BOLT の下位クラスで各々定義する。また、スキーマ集合 S_{bolt} は、3つの部品等級に共通する性質を表す。たとえば、多値従属性スキーマ $MDS(TC_b, d_b)$ は、部品等級 TC_b からとりうるねじの呼び d_b の集合が決まることを表す。

一方、部品等級 A の六角ボルトのクラス HEX-BOLT-A は、クラス HEX-BOLT の下位クラスとして次のように定義できる。

$$\text{HEX-BOLT-A} =$$

$$C'(\text{HEX-BOLT}, P_{\text{bolt-A}}, S_{\text{bolt-A}},$$

$$R_{\text{bolt-A}}(TC_b, d_b, l_b, SC_b, \dots, C_{b_{\min}}, f_{b_{\max}}))$$

ただし、

$$P_{\text{bolt-A}} = \{c_{b_{\min}}, f_{b_{\max}}\}$$

$$S_{\text{bolt-A}} =$$

$$\{FDS(\{TC_b, d_b\}, \{P, \dots, c_{b_{\min}}, f_{b_{\max}}\}), \dots\}$$

$$R_{\text{bolt-A}} =$$

$$\{(A, M3, 20, 8.8, \dots, 0.15, 1.0),$$

$$(A, M3, 25, 8.8, \dots, 0.15, 1.0), \dots\}$$

クラス HEX-BOLT-A は、固有な属性として座の高さ c_b の最小値 $c_{b_{\min}}$ と首下丸みから円筒部への移行長さ f_b の最大値 $f_{b_{\max}}$ を持つ^{☆7}(図 2)。したがって、

☆1 結合属性 (join attribute) が存在しない場合は、直積と等価とする。

☆2 一般のオブジェクト指向言語と異なり属性の重複定義を許さないのは、相互運用性のための配慮である。

☆3 T は上位クラスが存在しないことを表す。

☆4 規格では、諸元に等級付けを行い品質管理を容易にするための工夫がよくなされている。

☆5 簡単のために鋼ボルトについてのみ示している。

☆6 鋼材に関する引張強さなどの強度の分類種別を表し、部品等級と同様に材料の品質管理のための工夫である。

☆7 六角ボルトの詳細形状は JIS B 1180 による。

クラス HEX-BOLT-A の属性集合は $P_{\text{bolt-A}} \cup P_{\text{bolt}}$, リレーションは $R_{\text{bolt-A}} * \emptyset (= R_{\text{bolt-A}})$ となる. 他の部品等級も同様である.

4.3 標準クラスと製品クラス

クラスは, 役割と機能が異なる標準クラスと製品クラスとからなる.

4.3.1 標準クラス

標準クラスは, 一般性の高い情報を表現するためのクラスであり, 法規や規格, 業界標準等の情報を表現すること, および後述する製品クラスのためのテンプレートを定義することの2つの目的がある.

クラス C_{sub} を $C'(C_{\text{sup}}, P_{\text{loc}}, S_{\text{loc}}, R_{\text{loc}})$ とするとき, C_{sub} が標準クラスならば, $P_{\text{loc}} \neq \emptyset \vee S_{\text{loc}} \neq \emptyset \vee R_{\text{loc}} \neq \emptyset$, かつ C_{sup} は T または標準クラスであるとする. したがって, 標準クラスが上位クラスを持つならば, その上位クラスは標準クラスに限られる. 以下では, クラス C_{sub} が標準クラスであることを $C_{\text{std}}(C_{\text{sup}}, P_{\text{loc}}, S_{\text{loc}}, R_{\text{loc}})$ と表す.

標準クラスは, たかだか1つの識別属性スキーマを定義できるとする \star . また, 継承関係にある標準クラスでは, この中のたかだか1つの標準クラスが識別属性スキーマを定義できるとする $\star\star$. 識別属性スキーマ定義の有無により標準クラスを区別する場合には, 識別属性スキーマを定義している標準クラスを固有クラス, 固有クラスの上位クラスを抽象クラス, 固有クラスの下位クラスを派生クラスと呼ぶ.

たとえば, クラス HEX-BOLT は, JIS 規格に関する情報を表現した標準クラスである. この標準クラスを, 規格に準拠した六角ボルトの製品情報を表す製品クラスのテンプレートとしても用いるには, 次のようにいくつかの属性とスキーマを追加すればよい.

$$\text{HEX-BOLT} = C_{\text{std}}(T, P_{\text{bolt}}, S_{\text{bolt}}, \emptyset)$$

ただし,

$$P_{\text{bolt}} = \{TC_b, db, lb, SC_b, \dots, \text{Sup}, PR_b\}$$

$$S_{\text{bolt}} = \{MDS(TC_b, db),$$

$$MDS(\{TC_b, db\}, lb), \dots,$$

$$FDS(\{TC_b, db, lb, SC_b, \text{Sup}\}, PR_b)\}$$

属性集合 P_{bolt} には, 六角ボルトの製造者 Sup , 製品の単価 PR_b が追加されている. ところで, 六角ボルトは, その種類を指示するための呼び方が JIS B 1180 に規定されている. たとえば, 呼び "A M3×20-8.8" は, 部品等級 A, ねじの呼び M3, 呼び長さ 20, 強度区分

8.8 の六角ボルトを意味する $\star\star\star$. したがって, これらの諸元と製品の製造者 Sup から単価 PR_b が決まる. 関数従属性スキーマ $FDS(\{TC_b, db, lb, SC_b, \text{Sup}\}, PR_b)$ は, この属性間の関係に対応している. なお, 下位の標準クラス HEX-BOLT-A は, 前述のとおりとする.

4.3.2 製品クラス

製品クラスは, 上位の標準クラスで規定された属性集合とスキーマ集合に基づいて, 製品固有な属性間の関係を表現するクラスである. たとえば, 六角ボルトでは, 種類と単価や納期との間の関係などが製品固有の情報である.

クラス C_{sub} を $C'(C_{\text{sup}}, P_{\text{loc}}, S_{\text{loc}}, R_{\text{loc}})$ とするとき, C_{sub} が製品クラスならば, $P_{\text{loc}} = \emptyset \wedge S_{\text{loc}} = \emptyset \wedge R_{\text{loc}} \neq \emptyset$, かつ C_{sup} は標準クラスであるとする. すなわち, 製品クラスは標準クラスを上位クラスとして持ち, 製品クラスの下位クラスは存在しない. 以下では, クラス C_{sub} が製品クラスであることを $C_{\text{prd}}(C_{\text{sup}}, R_{\text{loc}})$ と表す.

製品クラスは, $P_{\text{loc}} = \emptyset$ かつ $S_{\text{loc}} = \emptyset$ なので, 固有の属性やスキーマを定義できない. これは, 製品クラスが上位の標準クラスから属性集合とスキーマ集合とを継承することを意図している. この制限により, 同一の上位クラスを持つ製品クラスは, 属性集合とスキーマ集合が共通化され, そのリレーションは同じ制約を満たす. 製品クラスに対するこの表現上の制限は, 相当品を表す製品クラス間の相互運用性の向上を目的としている.

例として, 製造者 S の部品等級 A の六角ボルト製品に関する製品クラス HEX-BOLT-A-of-S を示す. 製品クラス HEX-BOLT-A-of-S は, 標準クラス HEX-BOLT-A の下位クラスとして次のように定義できる.

$$\text{HEX-BOLT-A-of-S} =$$

$$C_{\text{prd}}(\text{HEX-BOLT-A},$$

$$R_{\text{bolt-A-of-S}}(TC_b, db, lb, SC_b, \text{Sup}, PR_b))$$

ただし,

$$R_{\text{bolt-A-of-S}} = \{(A, M3, 20, 8.8, S, 180),$$

$$(A, M3, 25, 8.0, S, 190), \dots\}$$

製品クラス HEX-BOLT-A-of-S は, 属性集合, スキーマ集合, およびリレーションを上位の標準クラス HEX-BOLT-A から継承する. リレーション $R_{\text{bolt-A-of-S}}$ は, この継承した属性集合とスキーマ集合に基づき, 製造者 S の六角ボルト製品の単価を表したものである. したがって, 製品クラス HEX-BOLT-A-of-S のリレー

\star 識別属性スキーマとして複数の可能性がある場合は, 4.4.1 項で述べるようにその中の1つを選択する.

$\star\star$ 材料やボルトのねじ部のように部品と独立な規格では, クラス階層中のすべての標準クラスが識別属性スキーマを持たない.

$\star\star\star$ 規格番号やボルトの種類などは簡単のために省略している.

ションは、 $R_{\text{bolt-A}} * R_{\text{bolt-A-of-S}}$ となる。

同様に、他社の相当品の製品クラスも、標準クラス HEX-BOLT-A の下位クラスとして定義できる。この製品クラスの属性集合とスキーマ集合は、製品クラス HEX-BOLT-A-of-S と同一になるので、その製品情報を表したリレーションも必ず同じ制約を満たす。

4.4 識別属性スキーマと製品識別データ

4.4.1 識別属性スキーマの意味

一般に、多数回参照される情報には、それを同定するための規則が用意されることが多い。実際、標準部品では、利用者や製造者自身の便宜のために、呼びや製品番号が用意されるのが普通である。このことを利用すると、限られた属性値の組から製品の種類を特定できる。識別属性スキーマは、このような製品等の種類を一意的に識別するための属性集合を定義するものである。製品の種類を識別可能な属性集合は一般に複数存在しうるが、識別属性スキーマを構成する属性集合は、この中から何らかの基準に従って1つ選択する*。

たとえば、六角ボルト製品は、4.3.1 項で述べたように、部品等級 TC_b 、ねじの呼び db 、呼び長さ lb 、強度区分 SC_b からなる呼びにより種類を1つ指示できた。したがって、これに製造者 Sup を加えた属性集合により製品の種類を識別できるから、クラス HEX-BOLT は、識別属性スキーマ $IDS(\{TC_b, db, lb, SC_b, Sup\})$ を持つことができる。

4.4.2 製品識別データ

識別属性スキーマを用いて、クラスが表現する対象の1つを指示するための製品識別データを定義する。固有クラス $C = C(P, S, R)$ において、 $P = \{p_i | p_i : T_i, 1 \leq i \leq n\}$ 、 $IDS(\{p_{i_1}, p_{i_2}, \dots, p_{i_k}\}) \in S$ ($1 \leq i_1 < i_2 < \dots < i_k \leq n$)、かつ $d_{i_1} \in T_{i_1}$ 、 $d_{i_2} \in T_{i_2}$ 、 \dots 、 $d_{i_k} \in T_{i_k}$ とするとき、クラス C と $d_{i_1}, d_{i_2}, \dots, d_{i_k}$ からなる組 $(C, d_{i_1}, d_{i_2}, \dots, d_{i_k})$ を製品識別データと呼ぶ。クラスの属性は、製品識別データをその値としてとれるとし、そのデータ型を C とする。

たとえば、製造者 S の呼び “A M3×20-8.8” の六角ボルトを指示する製品識別データは、前述の識別属性スキーマに従うと、 $(\text{HEX-BOLT}, A, M3, 20, 8.8, S)$ となる。

製品識別データは、組合せ部品のクラスにおいて、その部品を指示する識別子として使用できる。ただし、製品識別データは、属性値がすべて一致する論

理的に同じ性質を有する部品の個々の出現を区別しない。たとえば、ある組合せ部品に製造者 S の呼び “A M3×20-8.8” の六角ボルトが2本以上含まれていても、それらを指示する製品識別データは同一である。

製品識別データを用いて組合せ部品のクラスを表現する例を示す。以下は、部品等級 A の六角ボルト・六角ナット対の標準クラス HEX-BOLT-NUT-A と製造者 S の製品クラス HEX-BOLT-NUT-A-of-S の記述例である。なお、六角ナット²³⁾のクラスとその識別属性スキーマは、六角ボルトとほぼ同様である。

$$\begin{aligned} \text{HEX-BOLT-NUT-A} &= \\ C_{\text{std}}(T, P_{\text{bolt-nut}}, S_{\text{bolt-nut}}, \emptyset) \\ \text{HEX-BOLT-NUT-A-of-S} &= \\ C_{\text{prd}}(\text{HEX-BOLT-NUT-A}, \\ &R_{\text{bolt-nut-A-of-S}}(\text{bolt}, \text{nut})) \end{aligned}$$

ただし、

$$\begin{aligned} P_{\text{bolt-nut}} &= \{\text{bolt}, \text{nut}\} \\ S_{\text{bolt-nut}} &= \\ &\{MDS(\text{bolt}, \text{nut}), MDS(\text{nut}, \text{bolt})\} \\ R_{\text{bolt-nut-A-of-S}} &= \\ &\{((\text{HEX-BOLT}, A, M3, 20, 8.8, S), \\ &(\text{HEX-NUT}, \dots)), \\ &((\text{HEX-BOLT}, A, M3, 25, 8.8, S), \\ &(\text{HEX-NUT}, \dots)), \dots\} \end{aligned}$$

属性 bolt 、 nut は、六角ボルト・六角ナット対の部品としての六角ボルトと六角ナットをそれぞれ指示する属性である。リレーション $R_{\text{bolt-nut-A-of-S}}$ は製造者 S の六角ボルト・六角ナット対の製品集合を表す。

4.4.3 オブジェクト識別子との関係

一般のオブジェクト指向データベースでは、実世界の実体の存在を、属性値の集まりで間接的に表現するのではなく、属性値とは独立に表現、指示できる能力（オブジェクト識別性）を有するオブジェクト識別子を持つ^{24),25)}。属性値がすべて一致する同一種類の部品が複数個存在するとき、これらを区別するには、オブジェクト識別性が必要である。しかし、本論文で提案する知識表現モデルは、製品の構造表現を意図していないので、組合せ部品に含まれる同一種類の部品を個々に区別できる必要はない。たとえば、組合せ部品に同一製造者の呼び “A M3×20-8.8” の六角ボルトが2本含まれていても、両者を区別する必要はない。

このように、製品識別データは、オブジェクト識別子と異なり、オブジェクト識別性を有しない。したがって、提案する知識表現モデルに基づいて表現された組合せ部品を、オブジェクト指向データベースで表現する場合、部品を指示する製品識別データをオブジェク

* 選択基準に関する議論は本論文の範囲を超え、標準部品には、6.2.1 項で示すような “製品の呼び方” が規格で規定されていることがある。

ト識別子で代用すると意味が異なることがある。

4.4.4 候補キーとの関係

属性集合により対象を識別する考え方は、候補キーによりタプルを識別する関係データベースと類似している。しかし、識別属性スキーマを構成する属性集合は、必ずしもクラスのリレーションの候補キーとは限らない。たとえば、4.3.1 項に示した例で、六角ボルトの単価 PR_b が注文数 Order によって変化する場合を考える。製品クラス HEX-BOLT-A-of-S は、クラス HEX-BOLT に追加した属性 Order を用いて、ボルトの種類、単価、注文数の間の関係を表現する。このとき、HEX-BOLT-A-of-S のリレーション $R_{bolt-A} * R_{bolt-A-of-S}$ の候補キーは、注文数 Order を含む集合 $\{TC_b, d_b, l_b, SC_b, Sup, Order\}$ となる。一方、注文数 Order は製品の識別には無関係であるから、識別属性スキーマを構成する属性集合は、4.4.1 項に示した $\{TC_b, d_b, l_b, SC_b, Sup\}$ となる。これは候補キーの真部分集合である。

このように、識別属性スキーマの属性集合は、クラスのリレーションのタプルを指示する候補キーとは必ずしも一致しない。したがって、関係データベース上で表現する場合、識別属性スキーマの属性集合を候補キーとして扱えないことがある。

4.5 スキーマの導出

4.5.1 スキーマの簡略化

あるクラスにおいてつねに定数値をとる属性が存在するならば、その属性を含むスキーマを簡略化できる。

あるクラス C が関数従属性スキーマ $FDS(\{p_1, \dots, p_n\}, q)$ を持つとする。また、クラス C とその下位クラスにおいて、属性 $p_i (1 \leq i \leq n)$ の値がある定数値とする。このとき、 $FDS(\{p_1, \dots, p_n\}, q)$ は、クラス C とその下位クラスでは $FDS(\{p_1, \dots, p_{i-1}, p_{i+1}, \dots, p_n\}, q)$ と読み換えられる。これをスキーマの簡略化と呼ぶ。これは、クラス C とその下位クラスにおいて、属性 p_1, \dots, p_n, q からなるリレーションの属性 p_i の値はすべてのタプルで定数値となるので、関数従属性の決定子として属性 p_i は冗長なことによる。多値従属性スキーマも同様である。

たとえば、標準クラス HEX-BOLT-A は部品等級 A に関するクラスであるから、部品等級を表す属性 TC_b の値はつねに A となる。したがって、標準クラス HEX-BOLT-A とその下位クラスに限れば、たとえば関数従属性スキーマ $FDS(\{TC_b, d_b\}, \{P, \dots, c_{b_{min}}, f_{b_{max}}\})$ は、 TC_b を省略して $FDS(\{d_b\}, \{P, \dots, c_{b_{min}}, f_{b_{max}}\})$ としても矛盾しない。スキーマの簡略化が可能ならば、5.2 節で述べる設計計算への適

用において、スキーマに対応する関数の入力パラメータ数を削減できる。

4.5.2 スキーマの一般化

簡略化とは逆に、同じ上位クラスを持つ複数の下位クラスで定義されたスキーマは、上位クラスで一般化可能なことがある。

あるクラス C が属性 p_1, \dots, p_n, q を持つとする。このとき、クラス C のすべての下位クラス $C_k (1 \leq k \leq m)$ において、関数従属性スキーマ $FDS(\{p_1, \dots, p_{i-1}, p_{i+1}, \dots, p_n\}, q)$ が定義されていて、かつ C_k の属性 $p_i (1 \leq i \leq n)$ が互いに異なる値を持つならば、クラス C において $FDS(\{p_1, \dots, p_n\}, q)$ が成立するとしてよい。これをスキーマの一般化と呼ぶ。多値従属性スキーマも同様である。

独立に定義されたスキーマが、あるクラスで一般化可能ならば、当該クラスでそのスキーマを定義し、その下位クラスはこのスキーマを継承すればよい。これは、クラス階層を利用したスキーマの標準化に対応する。

5. 標準部品にかかわる技術情報の利用形態

図3は、4章で提案した知識表現モデルに基づく公的知識の運用の参照モデル⁴⁾である。この参照モデルでは、標準クラスを国や業界団体等で標準化されたものとしているが、実際の運用では、標準化の遅れや技術革新にともない、製造者が定義した独自の標準クラ

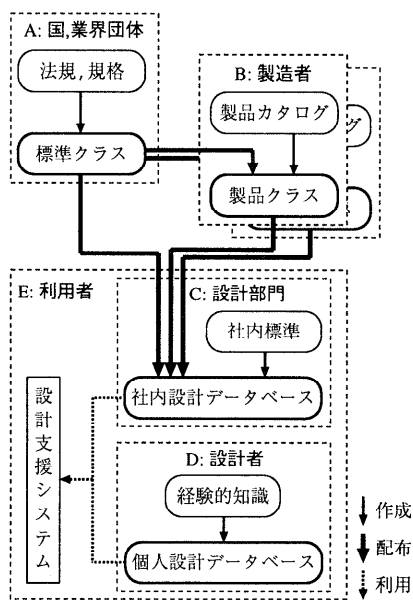


図3 公的知識の運用の参照モデル
Fig. 3 Operation reference model of public engineering knowledge.

スが一時的に使用される場合もある。

以下では、六角ボルトの例を使って、標準部品にかかわる技術情報を表現したクラスの作成から利用までの流れと、設計計算への適用例を示す。

5.1 標準部品にかかわる技術情報の流れ

標準クラスの作成 六角ボルトは、4章で述べたように、ねじ部やボルト部の構造諸元等がJIS規格に規定されていて、JIS規格に基づく製品が製造されている。国や業界団体等の中立的な組織Aは、JIS規格に基づきMC-SCREW, HEX-BOLT, HEX-BOLT-A等の標準クラスを定義する。

製品クラスの作成 六角ボルトの製造者Bは、Aで定義された標準クラスに基づき、自社製品に関する製品クラスを定義する。たとえば、部品等級Aの六角ボルト製品の単価は、部品等級Aの標準クラスHEX-BOLT-Aの下位の製品クラスHEX-BOLT-A-of-Bで表現する。他の六角ボルトの製造者も同様である。

設計における利用 設計部門Cは、MC-SCREW, HEX-BOLT, HEX-BOLT-A等の標準クラスを組織Aから入手する。また、六角ボルト製品の製品クラスを製造者Bなどから入手する。これらのクラス記述は、社内設計データベース向きに変換され、社内標準とともに蓄積される。このとき、製品の全種類を使うとは限らないので、不要なものを除くこともある。たとえば、大きなボルトやナットを使わない小型民生機器の設計部門では、不要なデータを削除してデータベースを簡潔にできる。また、過去の設計実績に基づき諸元値を変更することもある。設計者Dは、設計支援システムを通じてこの社内設計データベースを利用し、設計を行う。

5.2 設計計算への適用例

4章で提案した知識表現モデルに基づくクラス記述を設計計算に適用する例を示す。ここでは、付録A.1に示した締結用ボルトの設計手順の中で、六角ボルトを選定する手順(2)に適用する。手順(2)では、六角ボルトの部品等級TC、本数N、外力W、許容せん断応力 T_a からねじの呼びdを求める。この設計計算の手順は、生成検証法^{26)~29)}に基づいて整理すると、図4に示すデータフロー図式として表現できる。

(e)六角ボルトに作用するせん断応力 T_s を求めるには、(c)ねじの谷の径 D_1 と有効径 D_2 が必要である。ねじの基準寸法は、4.2.1項に示したメートル並目ねじの標準クラスMC-SCREWに規定されている。MC-SCREWは関数従属性スキーマ $\mathcal{FDS}(d, \{P, H_1, D, D_1, D_2, \dots\})$ を持つから、ねじの呼びdが決まれば D_1, D_2 等が一意に決定可能なことが分かる。一

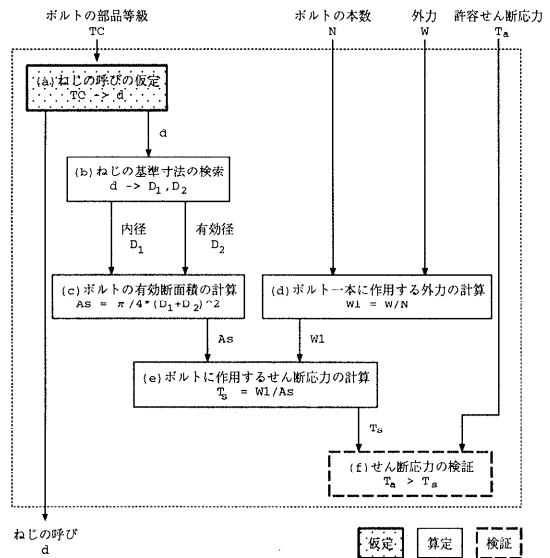


図4 ボルトの大きさを求めるデータフロー図式

Fig. 4 Data flow diagram for calculating the size of a bolt.

方、4.2.2項に示した六角ボルトの標準クラスHEX-BOLTは多値従属性スキーマ $MDS(TC, d)^*$ を持つから、部品等級TCからねじの呼びdの集合が決まることが分かる。したがって、(a)部品等級TCからねじの呼びdを1つ仮定し、(b)ねじの呼びdから D_1, D_2 を求めればよい。

(a), (b)に示した関数従属性スキーマと多値従属性スキーマの表す属性間の関係は、生成検証法に基づくプログラミング言語では次のように扱える。関数従属性スキーマの表す関係は、関数として表現する。たとえば、(b)は、標準クラスMC-SCREWのリレーション R_{mcs} を、dから D_1, D_2 を求める関数に変換する $\star\star$ 。一方、多値従属性スキーマの表す関係は、集合値関数と見なせるので仮定生成子^{28), 29)}として表現できる。たとえば、(a)は、標準クラスHEX-BOLT-Aのリレーション R_{bolt-A} を、TCからとりうるdを1つ仮定する仮定生成子に変換する $\star\star\star$ 。

6. 記述実験と評価

3章にあげた知識表現モデルの要件に対し、4章で提案した知識表現モデルの表現能力を評価するために、

\star 説明の都合から属性 TC_b, d_b をそれぞれTC, dに変更している。

$\star\star$ たとえば、dをキーとし D_1, D_2 を索くハッシュ表を構成する。

$\star\star\star$ たとえば、TCをキーとしdの集合を索くハッシュ表を構成する。

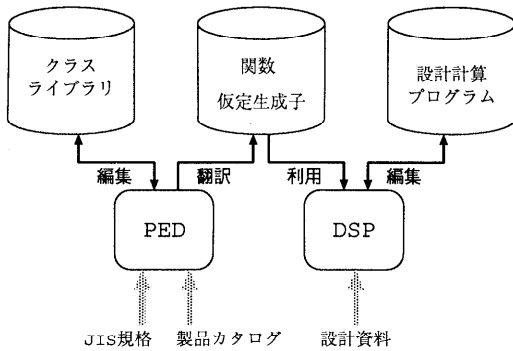


図5 記述実験環境
Fig.5 Environment for description experiments.

JIS規格および製品カタログの記述を行い、またこれを設計計算に適用する実験を行った。JIS規格および製品カタログの記述は、提案した知識表現モデルに基づき規定した記述言語 PIF (PUBLIB Interchange Format)⁷⁾☆を用いた。ここでは、記述実験の概要とその結果について述べる。

6.1 記述実験の概要

規格や標準部品を多用する実際的な設計問題の中からVベルト伝動装置設計³⁰⁾と圧力容器設計³¹⁾の2例を選択して記述実験を行った。まず、各々の問題に必要な規格と製品カタログを洗い出し、これを分析、整理した。この結果に基づき、規格および製品カタログをPIFを用いて記述した。次に、設計計算用言語DSP^{26)~29)}を用いて設計計算プログラムを作成し、動作確認を行った。

図5に記述実験環境を示す。PIFによるクラスの記述には、専用の編集ツールPEDを使用した。PIFで記述したクラスは、PEDのコンパイラを用いてDSPで利用可能な関数および仮定生成子に翻訳し、各プログラムから参照した。

6.2 実験結果

6.2.1 クラスの構成

Vベルト伝動装置設計用クラス Vベルト伝動装置³⁰⁾は、Vベルト、Vベルトを巻き付けるVプリー、シャフト、およびVプリーとシャフトを固定するキーからなる。これらの機械要素は、JIS規格に規定された標準部品を使うのが一般的であり、したがってJIS規格が主な情報源となる。ここでは、JIS B0901³²⁾、JIS B1301³³⁾、JIS B1854³⁴⁾、およびJIS K6323³⁵⁾について記述した。表1にクラスの概要を示す。これらは、すべて標準クラスである。クラス名の字下げは

表1 Vベルト伝動装置に関するクラス

Table 1 Classes for V-belt system.

クラス	属性数	スキーマ数	タプル数
JIS-B0901	2	1	80
JIS-B1301#	33	9	1088
Headed-Key	2	2	30
Parallel-Key	1	1	64
Sloped-Key	0	1	32
JIS-B1854#	33	7	34
A	3	2	81
A-1	2	1	25
A-2	2	1	56
A-3	2	1	10
A-4	2	1	10
A-5	1	1	10
B	3	2	106
B-1	2	1	30
B-2	2	1	32
B-3	2	1	13
B-4	2	1	17
B-5	1	1	41
C	3	2	72
C-5	1	1	72
D	3	2	9
E	3	2	6
M	0	2	34
JIS-K6323#	26	16	58720

8. 製品の呼び方 製品の呼び方は、名称、種類及びVベルトの長さによる。

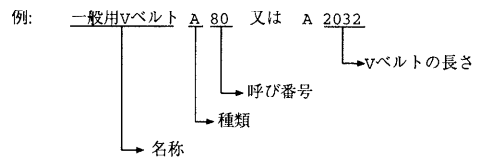


図6 JIS K6323における製品の呼び方
Fig.6 Product naming rule in JIS K6323.

クラス間の継承関係を表し、末尾の“#”は識別属性スキーマを持つ固有クラスを表す。識別属性スキーマは、図6に示すような、規格に規定された“製品の呼び方”に基づいて属性集合を選択し、定義した。ただし、JIS B0901は軸の直径についてのみ規定しているので、標準クラスJIS-B0901は識別属性スキーマを持たない。クラスのリレーションは編集の利便性のために複数のサブリレーションに分割して記述可能としているので、ここでは*演算によってサブリレーションから作られる仮想的なリレーションのタプル数を示している☆☆。

圧力容器設計用クラス 圧力容器³¹⁾の部品の中で、

☆ 記述言語 PIF とその支援ツール PED の詳細は別稿で述べる。

☆☆ 表現技術上重要なものは、クラス構成、属性数、およびスキーマ数の3つである。

表2 圧力容器用鏡板に関するクラス

Table 2 Classes for heads of pressure vessels.

クラス	属性数	スキーマ数	タプル数
JIS-B8247#	51	5	160550
AD	0	0	39
AD-for-HOKKAI	0	1	0
AD-of-HOKKAI*	-	-	3200
ED	1	6	39
ED-for-AIWA	2	2	0
ED-of-AIWA*	-	-	8608
ED-for-HOKKAI	1	3	0
ED-of-HOKKAI*	-	-	20030528
FH	7	5	15
FH-of-AIWA*	-	-	744
HH	0	4	0
HH-of-AIWA*	-	-	172
HH-of-HOKKAI*	-	-	15936
SD	1	6	39
SD-for-AIWA	2	2	0
SD-of-AIWA*	-	-	21312
SD-for-HOKKAI	1	3	0
SD-of-HOKKAI*	-	-	16821952

表3 設計計算プログラムの概要

Table 3 Overview of design calculation programs.

問題	モジュール	関数	仮定生成子
Vベルト伝動装置設計	5	8	6
圧力容器設計	11	1	9

鏡板に関する技術情報を対象とした。鏡板は、圧力容器用鏡板として JIS B8247³⁶⁾ に形状や寸法諸元等に関する規定がある。圧力容器の設計では、この規格に基づいて³¹⁾設計、製造された市販の鏡板製品を使用することが多い。ここでは、JIS B8247 に対応する標準クラスを作成し、その下位クラスに 2 社の製品情報^{37),38)}を表す製品クラスを作成した。表 2 にクラスの概要を示す。標準クラス JIS-B8247 の下位クラス AD, ED 等は、鏡板の種類ごとに定義された標準クラスである。クラス名末尾の“*”は製品クラスを表す。

6.2.2 設計計算への適用結果

作成したクラス記述を用いて、Vベルト伝動装置および圧力容器の自動設計プログラムを作成した。クラス記述は、PIF コンパイラにより、関数従属性スキーマと多値従属性スキーマを利用して、DSP の関数と仮定生成子に翻訳した。表 3 は、各問題における DSP プログラムのモジュール³²⁾数と、使用されている関数および仮定生成子の数である³³⁾。

³¹⁾ 実際の鏡板製品は、規格に厳密に従ってはいないので、製造者に固有な点が多岐にわたる。

³²⁾ DSP におけるプログラムの記述単位である。

³³⁾ 圧力容器設計では、材料規格等も参照するが、ここでは鏡板に関してのみ計数している。

6.3 知識表現モデルの評価

4 章で提案した知識表現モデルが 3 章にあげた要件を満たす表現能力を有することを確認するために、2 つの設計問題に関する記述実験を行った。この結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 知識表現モデルに基づく記述言語を用いて、規格および製品カタログに規定された諸元間の関係を表現できる。
- (2) クラス記述はスキーマを用いて関数や仮定生成子に翻訳でき、その翻訳結果は自動設計プログラムの一部として利用できる。
- (3) クラス間の継承関係を用いることで、類似の機械要素に関する属性やスキーマ等の一元管理が可能である³⁴⁾。また、製品クラスでは、共通の標準クラスを上位クラスとすることで、属性やスキーマを統一し、相互運用性を高めることができる³⁵⁾。
- (4) 製造者に固有な属性やスキーマを必要とする場合、製品クラスの上位クラスに拡張用の標準クラスを導入することで、相互運用性を低下させることなく製品クラスの表現内容を拡張できる³⁶⁾。
- (5) 識別属性スキーマは、6.2.1 項で述べたように、規格に規定された“製品の呼び方”を参考に定義できる。組合せ部品の部品間の関係は、この識別属性スキーマから定義される製品識別データを用いて、4.4.2 項に例示した手法により表現すればよい。

7. おわりに

本論文では、法規や規格、製品カタログなどの技術情報は組織を超えて広く共有可能な公的知識であると考へ、これを設計支援システムで利用可能な記述形式で配布するための知識表現モデルを提案した。

この知識表現モデルは、関係データモデルとオブジェクト指向モデルを参考に、標準部品にかかわる技術情報を体系的に表現するために特化したモデルで、次の特徴を持つ。(1) 部品の寸法や材料の物性値など、機械設計に多用される標準部品にかかわる諸元間の関係を主たる表現対象とする。(2) 規格などの一般性の高い情報を表現する標準クラスと製品に関する情報を表現する製品クラスの 2 種類の表現単位を持ち、両者

³⁴⁾ たとえば、標準クラス JIS-B1301 では、3 種類のキーに共通する属性 33 個とスキーマ 8 個が定義されている。

³⁵⁾ たとえば、HH 型鏡板の製品クラス HH-of-AIWA と HH-of-HOKKAI は、標準クラス JIS-B8247 と HH に基づいて記述されているので、属性やスキーマが共通である。

³⁶⁾ たとえば、SD 型鏡板では、共通の標準クラス SD の下位に各社専用の標準クラス SD-for-AIWA と SD-for-HOKKAI を各々定義し、ここで属性とスキーマを新たに追加定義している。

の役割と機能を明確に区別している。これにより、複数の製造者から提供される製品クラスの相互運用性を高めると同時に、製造者による表現内容の拡張を可能にしている。(3) 複数の部品の組からなる組合せ部品では、部品を指示する製品識別データを用いて部品間の関係を表現することで、部品情報を一元的に表現できる。この知識表現モデルに基づく記述言語を規定し、記述実験を行った。この結果、JIS規格および製品カタログを記述可能なこと、この記述結果を設計計算に適用可能なこと、および相互運用性と拡張性とを両立できることを確認した。

本論文で提案した知識表現モデルに基づいて、標準部品にかかわる技術情報の流通を具体化するには、クラスの作成、配布、および利用に関して次のような技術的課題が残されている。作成では、クラス構成の個人差を低減するために、記述のための指針や規則を整理し、標準的な書法を定める必要がある。配布では、独立並行して構築される多数のクラスライブラリの管理手法や配布手法の検討が必要である。利用では、設計支援への適用手法や各種支援ツールの開発が必要である。今後、大規模な運用実験を通して、これらの問題を解決していく予定である。

機械設計では、従来チャートやグラフで表現されていた連続量をとる諸元間の関係も用いる。本論文で提案した知識表現モデルは、代表点に関する諸元間関係を表現できるので、補間法が適用可能な範囲で連続量の扱いが可能であるが、連続量の表現手法は今後さらに研究が必要である。また、電子部品等への応用も、今後の研究課題である。

謝辞 熱心にご討論いただいたJIS原案関連委員会の委員の皆様、記述実験に際し情報提供いただいた九州芸術工科大学の川北和明教授、各部品メーカーの方々に感謝いたします。また、本論文をまとめるにあたり貴重な助言をいただいた九州工業大学情報工学部の橋本正明教授、廣田豊彦助教授、長菱設計株式会社の山口秀行氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 吉川弘之, 富山哲男(編): インテリジェントCAD(上)—理念とパラダイム, 朝倉書店(1989).
- 2) 吉川弘之, 富山哲男(編): インテリジェントCAD(下)—テクノロジーと展望, 朝倉書店(1991).
- 3) 日本設計工学会: 高度技術化に対応する機械製図システムの標準化のための調査研究(第三年度)報告書(1988).
- 4) 伊藤公俊, 長澤 勲, 梅田政信: 第六年度CAD標準化研究(その3)—公的知識ベースの構築, 設計・製図, Vol.26, No.7, pp.356-360(1991).
- 5) 梅田政信, 長澤 勲: 第六年度CAD標準化研究(その4)—公的知識ベースの設計, 設計・製図, Vol.26, No.7, pp.361-367(1991).
- 6) Ito, M., Umeda, M. and Nagasawa, I.: Standardization Activities for Standard Parts Library in JAPAN, *International Journal of the Japan Society for Precision Engineering*, Vol.27, No.3, pp.185-191(1993).
- 7) JIS原案作成委員会: 『CAD用技術情報の記述形式』, JIS原案, 日本設計工学会(1993).
- 8) 精密工学会事業部会(編): 次世代CADの必須アイテム—標準部品ライブラリー電子カタログの標準化を越えて(1992).
- 9) ISO: Product Data Representation and Exchange ISO 10303(1994).
- 10) ISO: Parts Library ISO CD 13584(1995).
- 11) Yoshikawa, H.: General Design Theory and a CAD System, *Proc. IFIP WG5.2-5.3 Working Conference on Man-Machine Communication in CAD/CAM*, pp.35-58(1981).
- 12) 長澤 勲: 設計エキスパート, 情報処理, Vol.28, No.2, pp.187-196(1987).
- 13) 長澤 勲: 設計の諸相と知的CAD, 精密工学会誌, Vol.54, No.8, pp.1429-1434(1988).
- 14) 吉川弘之, 木村文彦(編): 設計とCAD, 朝倉書店(1993).
- 15) Sanderson, D.: Data Exchange Issues for Standardization, *Computer Standard Interfaces*, Vol.13, No.1-3, pp.305-309(1991).
- 16) 鈴木宏正: STEPにおける製品モデルの構造, 精密工学会誌, Vol.59, No.12, pp.11-18(1993).
- 17) ISO: ISO 10303 Part 11: Description Methods: The EXPRESS Language Reference Manual(1994).
- 18) Pierra, G.: A Multiple Perspective Object Oriented Model for Engineering Design, *New Advances in Computer Aided Design & Computer Graphics*, Zhang, X. (Ed.), pp.368-373, International Academic Publishers(1993).
- 19) 関根 純, 川下 満, 町原宏毅, 中川 優: 体系的なDB構築のための用語辞書を用いたデータ標準化手法, 情報処理学会論文誌, Vol.34, No.3, pp.457-467(1993).
- 20) 増永良文: リレーショナルデータベースの基礎—データモデル編, オーム社(1990).
- 21) 日本規格協会: メートル並目ねじ JIS B 0205(1982).
- 22) 日本規格協会: 六角ボルト JIS B 1180(1985).
- 23) 日本規格協会: 六角ナット JIS B 1181(1985).
- 24) 田中克己: オブジェクト指向データベースの基礎概念, 情報処理学会論文誌, Vol.32, No.5, pp.500-513(1991).

- 25) Khoshafian, S.: *Object-oriented Databases*, John Wiley & Sons (1993).
- 26) 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集, No.405, pp.157-165 (1989).
- 27) 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集, No.417, pp.157-166 (1990).
- 28) 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, 信学技報 AI91, Vol.91, No.315, pp.25-32 (1991).
- 29) Umeda, M., Nagasawa, I. and Higuchi, T.: The Elements of Programming Style in Design Calculations, *Proc. 9th International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems*, pp.77-86 (1996).
- 30) 川北和明: 機械要素設計, 朝倉書店 (1995).
- 31) JIS 圧力容器編集委員会: JIS 圧力容器—解釈と計算例, 日本規格協会 (1981).
- 32) 日本規格協会: 軸の直径 JIS B 0901 (1977).
- 33) 日本規格協会: 沈みキー及びギキーみぞ JIS B 1301 (1976).
- 34) 日本規格協会: 一般用 V プーリ JIS B 1854 (1987).
- 35) 日本規格協会: 一般用 V ベルト JIS K 6323 (1989).
- 36) 日本規格協会: 圧力容器用鏡板 JIS B 8247 (1986).
- 37) (株) アイワ製作所: アイワの鏡板 (1995).
- 38) (株) 北海鉄工所: 北海の鏡板 (1995).

付 録

A.1 締結用ボルトの設計手順

設計手順の一例として, 図 7 に示すような 2 枚の鋼板を締結するボルト・ナット対の設計手順を示す. ここでは簡単のために, 鋼板 1, 2 の許容せん断応力 T_a , 幅 W_{P1} , W_{P2} , 重ね合わせの長さ L , 板に作用する外力 W は与えられているとする. また, ボルトとナットは, 鋼板と同一材料で, 部品等級 TC が A の六角ボルトおよび六角ナットを使用する. このとき, 鋼板を締結するねじの呼び d , 本数 N , およびその配置位置を求める. この設計は, たとえば図 8 に示す手順で実行できる. なお, 簡単のために問題を単純化しているので, この範囲であれば自動設計も可能なことをお断りしておく.

(1) ボルト本数を仮定 使用する六角ボルトの本数 N を仮定する. 本数が少なければ大きな六角ボルトが必要になり, 本数が多ければ小さな六角ボルトで済む.

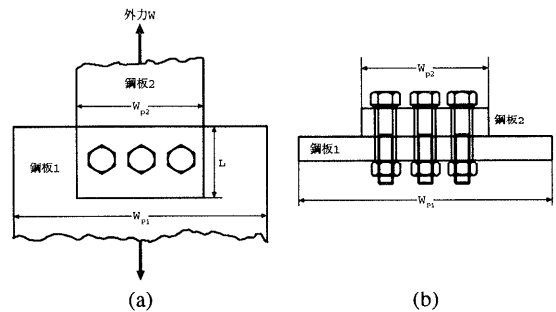


図 7 2 枚の鋼板を締結するボルトの例

Fig. 7 An example of bolts tightening two steel plates.

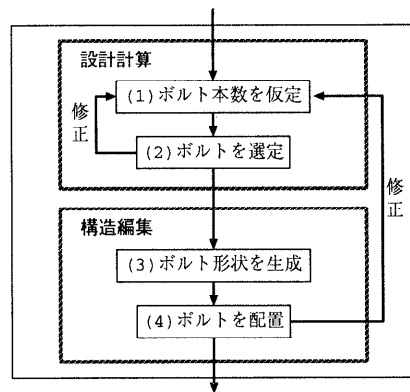


図 8 締結用ボルトの設計手順

Fig. 8 Design process of tightening bolts.

(2) ボルトを選定 外力 W は, 図 7(a) において上下方向に働くので, 鋼板と六角ボルトには, せん断応力が働くと考えられる. もし六角ボルトの許容せん断応力 T_a がボルト 1 本に作用するせん断応力 T_s に満たなければ, ボルトが折れる恐れがある. そこで, せん断応力を想定した力学モデルを立て, 六角ボルトの部品等級 TC, 本数 N , 外力 W , 許容せん断応力 T_a から六角ボルトのねじの呼び d (六角ナットのねじの呼びも同じ) を求める. この設計計算の手順は, 5.2 で述べたように図 4 に示すデータフロー図式として表現できる. この中では, JIS B 1180 および JIS B 0205 に規定されている 2 つの諸元間の関係を利用している. すなわち, 部品等級 TC からとりうるねじの呼び d の集合が決まること (図 4 中 (a)) と, ねじの呼び d からねじの基準寸法 D_1 , D_2 等が決まること (図 4 中 (b)) である. (1) で仮定した六角ボルトの本数で外力 W に耐えない場合は, 本数 N を増やして再試行する.

(3) ボルト形状を生成 ボルトの配置位置を決めるために, 製図図面, 製図用 CAD, あるいは形状モデ

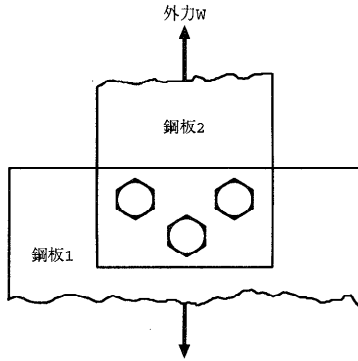


図9 ボルトの配置位置の変更例

Fig.9 An example of bolts rearrangement.

ラ上に(2)で選定した六角ボルトと六角ナットの形状を生成する。形状を生成するための諸元は、ねじの呼び d を基にJIS B 1180, JIS B 1181, JIS B 0205から得られる。

(4) ボルトを配置 六角ボルト・六角ナット対を鋼板上に配置し、ボルト間の間隔や位置関係、ボルトを締め付けるときの周辺機器との干渉等を評価し、配置位置を決める。また、必要に応じて六角ボルトに加工を加える。たとえば、図7のように直線的に配置してボルト間隔が短くなると、せん断応力により鋼板が割れる恐れがある。この場合は、たとえば図9に示すように配置位置を編集して、間隔を広げる。また、ナットが緩んで抜けることを防止したい場合には、六角ボルトの先端部に割ピンを挿入する穴を開けるなどの加工を行う。

このように、機械設計の手順は、一般に2つの作業に大別できる。1つは、設計対象の概略構造を仮定した後、所要の機能諸元から逆問題を解くことにより、構造諸元を決定する作業で、(1), (2)がこれにあたる。この作業の中心は、諸元間の関係を利用して設計対象の構造諸元の値を求めることである。他方は、この結果得られた構造を目視により編集、評価する作業で、(3), (4)にあたる。部品間の位置関係や干渉、全体的なバランス等の評価は、幾何学的な計算で解ける場合もあるが、一般的には難しく、設計者による目視確認が必要なことも多い。したがって、後者では、設計対象の構造や部品の形状を目視し、編集できる必要がある。

(平成8年6月27日受付)

(平成9年7月1日採録)



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年同大学大学院工学研究科修士課程修了。1984年富士通(株)。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)。知識情報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。



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。



伊藤 公俊 (正会員)

1951年生。1976年東京工業大学大学院生産機械工学専攻修士課程修了。東京芝浦電気(株), 東京工業大学総合理工学研究科助手を経て、1996年より埼玉大学工学部機械工学科助教授。博士(工学)。設計対象モデルを中心とした機械系CADシステムに関する研究を行う。著書『Design Theory for CAD』(分担, North Holland), 『インテリジェントCAD』(共編著, コロナ社), 『新工学知(全3巻)』(共編著, 東京大学出版会)ほか。日本設計工学会, 精密工学会, 人工知能学会, 電子情報通信学会, 日本機械学会, 日本認知科学会, 日本ロボット学会, AAAI各会員。