時間情報モデリングシステムの開発*

小野里 雅彦^{*1}, 岩田 一 明^{*2}, 福田 圭 一^{*3}

Development of a Time Information Modeling System

Masahiko ONOSATO, Kazuaki IWATA and Keiichi FUKUDA

Time information frequently plays an important role in the areas of design and manufacturing. The processing of time information data is done by application programs in different ways. The authors developed a modeling system for time information in which various facts and conditions concerning temporal situations are described, processed, and inferred in an integrated way. In this paper we outline an approach for realizing the system and propose the system requirements, architecture, and basic functions. Based on these proposals, a modeling system for time information, labeled Time Information Manager (TIM), was developed and applied to some examples which contained both qualitative and quantitative information about temporal points and intervals. TIM is able to demonstrate the effectiveness of time information modeling.

Key Words: Modeling, Manufacturing System, Production Planning, Design, Time Information

1. はじめに

設計・生産の分野における対象世界を記述する上で、空間と時間は最も基本となる概念である。空間、とくに形状の情報の取扱いに関しては、3次元形状モデリングとして研究、開発が盛んであり、多くのモデリングシステムが販売、利用されている。それに対して時間情報は、アプリケーション・プログラムごとに個別の表現と処理が行われており、アプリケーションから独立した時間モデルの記述と統一的な操作という概念へと発展していない。時間が形状と比べて簡単な構造と属性を持ち、モデルとしての取扱いが不要であったことが理由としてあげられる。しかしながら、そのことが時間の表現と処理の共通化を遅らせ、時間情報処理の高度化を妨げてきたといえる。

著者らはこれまで生産の分野における時間情報の取扱いに関して分析を行い、J.F. Allen の提案する線形時間軸上の時間区間の間の定性的な関係の整合性管理手法⁽¹⁾が有効であることを明らかにした。さらに、生産に多く現れる周期的な時間区間を効率的に取り扱うための環状時間軸での時間区間の関係とその整合性管理手法を新たに提案してきた⁽²⁾。

本論文においては、こうした時間区間の定性的な取扱いに加えて、時点ならびに時刻や時間長に関する

定量情報を取り扱うことのできる、より汎用的でかつ強力な表現、推論機能をもつ時間情報のモデリングシステムを開発したので、それについて報告する。

2. 時間情報表現の分類

はじめに前報⁽²⁾で行った時間表現についてまとめる。ここでは、以下の5つの軸を考える。

- 1) 時点 (point) - 区間 (interval): 時間の表現の基本単位として、事象を中心とした時点と、状態を中心を考える区間のどちらを選ぶかの選択。
- 2) 絶対的 (absolute) - 相対的 (relative): 属性や関係の指定に関して、絶対的な基準と相対的な関係のどちらを用いるかの区別。
- 3) 定量的 (quantitative) - 定性的 (qualitative): 定量的な数値と、定性的な値や関係の、どちらを時間の属性や関係の指定に用いるかの選択。
- 4) 連続的 (continuous) - 離散的 (discrete): 時刻や時間長の値に連続的な値を許すか、離散値のみを許すかの違い。
- 5) 確定的 (unique) - 選択的 (range): 時間の属性や関係の指定に、確定的な値のみを指定できるのか、選択可能な候補を指定できるのか、の区別。

これら5つの分類軸それぞれについて、どちらの考え方を用いるかで分類を行うと、図1に示す $2^5 = 32$ の

* 原稿受付 1997年1月27日。

^{*1} 正員, 大阪大学工学部 (〒565 吹田市山田丘2-1)。

^{*2} 正員, 高知工業高等専門学校 (〒783 南国市物部乙200)。

^{*3} 大阪大学大学院工学研究科 [現: 三菱電機(株)]。

		quantitative		qualitative		
point	continuous	time stamp	equation	full order		unique
		duration	inequality	partial order	tense	range
	discrete	alternative event	integer programing	DOE *		
		numbering	timing chart	queue	date system	unique
clock pulse		time chart		date system		
interval	continuous	alternative activity	integer programing			range
		stochasticactivity	inequality	Allen's method	tense	
		Gantt chart	PERT			unique
		absolute	relative		absolute	

*DOE: disjunctive ordered event

Fig.1 Classification matrix of representation methods for time information

要素をもつマトリックスが構成できる。既存の時間情報表現法はこのマトリックスにより整理することができる。たとえば、半順序 (partial order) による時間情報表現は、図 1 に示した分類においては 1) 時点 (point), 2) 相対的 (relative), 3) 定性的 (qualitative), 4) 連続的 (continuous), 5) 選択的 (range) を選んだ表現となる。

設計や生産における時間情報を総合的にモデリングするために、時間に関してどのような表現が適当であるかをこの分類軸について分析・検討した結果、以下の方針が、もっとも汎用的な時間表現を与えることが明らかになった⁽²⁾。

- 1) 時点と区間を併用し、
- 2) 絶対的記述を包含する形で相対的記述を行い、
- 3) 定性的情報と定量的情報を関連して取り扱い、
- 4) 時間軸をより汎用な連続性なものとして考え、
- 5) 確定値を含む、選択的な値の記述を可能とする。

本論文ではこうした機能を有する時間情報のモデリングシステムの構成手法を以下に述べていく。

3. 時間情報の表現と推論

上記の考えに基づく時間情報モデリングについて、1) 時間の構成要素、2) 定性的関係表現、3) 定性的関係の整合性の管理、4) 定量的関係表現、5) 定量的関係の整合性の管理、6) 定性的関係と定量的関係との整合性の管理、の順に説明する。

3.1 時間の構成要素 要求機能の 1 ならびに 4 を満足させるため、時間の構成要素については以下のよう考える。

- 1) 時間軸：連続な線形時間軸と周期性をもった環状時間軸がある。線形時間軸は実数 $\mathbf{R}$ と、環状時間軸は一周期 $\mathbf{U}$ による商集合 $\mathbf{R}/\mathbf{U}$ と同型と考える。また、時間軸は独立に複数存在しているとも考えることもできる。
- 2) 時点：時間軸上の任意の点 a 。時刻 $t(a)$ を有し、後述の時間区間の境界を構成する。
- 3) 時間区間：時間軸上の連続な閉区間 $[a, b]$ 。始点、終点の時刻 $t(a), t(b)$ と、それらの時刻差としての区間長 $t(b) - t(a)$ を属性としてもつ。

時点や時間区間は少なくともひとつの時間軸に属する。環状時間軸は工学に多く見られる周期性をもった時間情報を効率よく記述するために導入する。環状時間軸と線形時間軸との対応を与えることで、環状時間軸上の時点や時間区間は、線形時間軸上に周期数を表すインデックスが付いた形で展開される。

3.2 定性的関係表現 要求機能の 2 の相対的記述ならびに 5 の選択的記述を可能とするために、定性的関係表現を導入する。まず、線形時間軸上の時点 a, b の定性的関係 R_p は、以下の 3 つの関係を基本とする。

$$a < b \longrightarrow R_p(a, b) = \text{before}$$

$$a = b \longrightarrow R_p(a, b) = \text{equal}$$

$$a > b \longrightarrow R_p(a, b) = \text{after}$$

複数の関係を選択的に記述するには、たとえば、

$$a < b \vee a = b \longrightarrow R_p(a, b) = \{\text{before equal}\}$$

のように可能性のある要素を集合として記述する。定性的関係が確定した時点対は半順序構造として構造化しておく。

線形時間軸上の時間区間の定性的関係 R_p は, J.F. Allen による 13 の定性的関係⁽¹⁾を基本とし, それらの選言として表現する. たとえば, 時間区間 A, B の関係が, meets または after であれば, 以下のように記す.

$$\text{meets}(A, B) \vee \text{after}(A, B) \longrightarrow R_p(A, B) = \{\text{meets after}\}$$

つぎに環状時間軸上の時点, 時間区間の定性関係を説明する. 環状時間軸上の 2 点 a, b の関係は, 線形時間軸と異なり前後の区別がないため, 2 つの時点が等しい ($R_{cp}(A, B) = \text{equal}$) か等しくない ($R_{cp}(A, B) = \text{notequal}$) のどちらかである. また, 環状時間軸上の時間区間の関係は, 線形時間軸と異なり, 始点側と終点側の 2 箇所と同時に重なりをもつことがあり, それらの場合を考えると線形よりも多い 16 種類の定性的関係がある⁽²⁾.

3.3 定性的関係の整合性の管理 まず, 時点に関しては, 時点対に対して指定された前後関係から, 時点をノード, 先行関係をアークとする半順序グラフが構成できる. 時点間の前後関係を追加するときには, この半順序グラフがループを構成しないことを調べることで整合性の管理ができる.

また, 時間区間に関しては, 時間区間の対に定性関係を与えることで, 時間区間をノード, とりうる定性的関係の組をアークとする制約ネットワーク (以下, C-net と称する) が構成される. この C-net に対して, ある制約を追加する際に

- 1) 制約が C-net と矛盾する場合はその追加を却下し,
- 2) 矛盾しない場合には, 制約が追加された C-net の定性的関係を再計算する,

という処理を行い, C-net 全体としての整合性を常に保証することが必要である.

2 項関係の C-net の整合性管理の手法として, J.F. Allen の整合性管理アルゴリズム⁽¹⁾が有名である. これは, C-net から任意の 3 つの時間区間 (A, B, C) をとりだし, $A \rightarrow C$ の関係 R_{AC} と, $A \rightarrow B \rightarrow C$ の合成として得られる $A \rightarrow C$ の関係 $R_{AB} * R_{BC} = R_{ABC}$ を求める. 定性的関係の合成には, before * contains = before といった定性的関係の遷移規則 (transitivity rules) が用いられる. ($R_{AC} \cap R_{ABC}$) $\subset R_{AC}$ であるとき, $A \rightarrow C$ の関係 R_{AC} は ($R_{AC} \cap R_{ABC}$) に詳細化される. さらに $A \rightarrow C$ をアークとして含む他の 3 項関係を再計算し, 変更を C-net 上に伝播させていく.

J.F. Allen の 3 項間の整合性に基づく, C-net の整合性管理アルゴリズムは, 推論に関して完全であるが健

全ではない. すなわち, とりうる関係はもれなく可能な関係として推論されるが, 本来とりえない関係までもが可能な関係の候補として推論される. これに対して, P. van Beek は, 整合性の管理の単位を 3 項間から 4 項間へと拡張することで, より健全性の高い整合性管理手法を提案している⁽³⁾. ただし, 4 項での整合性管理の手法は, 3 項間と比較して計算量の増大が激しく, またこの手法でも, とりえない関係を完全に排除することはできない. また, C-net の整合性管理問題は, NP 困難 (NP-hard) の問題であることが知られており, 健全性を保証する効率のよい手法は存在しない.

本研究では, 実用的な面からみて J.F. Allen のアルゴリズムを整合性管理の手法として採用する. 時点に関する定性的関係と, 時間区間に関する定性的関係とは相互に密接に関係している. そのため, 時点で定まった関係を時間区間の間の関係へ反映させたり, その逆を行なうことが必要となる. ここでは, 時点の定性的関係と時間区間の定性的関係との変換テーブルを作成し, どちらかで定性関係の更新が生じたときには, 変換テーブルを介して他方の定性関係へと更新を伝播させる方法をとっている.

3.4 定量的関係表現 時間に関する量は, 時点の時刻と, 時刻の差としての時間区間長がある. それぞれに関して, 値の指定, 範囲の指定, 関係の指定の 3 種類の指定の方法がある. 定量的関係表現は, それらの組合せとして以下のように与えられる.

- 1) 値の指定: $a = 120, L = 12$
- 2) 範囲の指定: $10 < a < 18, L < 100$
- 3) 関係の指定: $a - b < 25, L_1 + 2L_2 < 3L_3$

時間の定量値は時刻と時間長のみであり, これらの間の演算としては,

- 1) 時刻 + 区間長 = 時刻
- 2) 時刻 - 時刻 = 区間長
- 3) 区間長 < + | - > 区間長 = 区間長
- 4) 区間長 < × | ÷ > 実数 = 区間長

の 4 種類のみが意味をもつ. よって, 時間の定量的関係の指定は, 時点および実数倍された区間長の線形結合となるため, 時間の定量値を変数とする連立一次不等式として表現できる.

3.5 定量的関係の整合性の管理 つぎに, 時点や

時間区間に対して指定された定量的値あるいは定量的関係の整合性を管理する方法について述べる。

時点に対して指定された値や範囲は、時点の半順序グラフのノードに付与され、時間区間長に関する値や範囲はアークに対して付与される。値や範囲が与えられ、以下の手順で整合性の管理を行う。

- 1) 与えられた値や範囲が、すでに存在していたり、前後の時点より導出される値や範囲と矛盾する場合には、その追加を不適当なものとして棄却する。
- 2) 矛盾しない場合は、所与の値や範囲で置き換える。
- 3) 置き換わった値や範囲を時点の半順序グラフ上に伝播させ、他の時点の値や範囲を更新する。

また、連立一次不等式として与えられた定量的関係の整合性管理に関しては、

- 1) 連立一次不等式として与えられた定量的関係(制約式)が、相互に矛盾していないかどうか。
- 2) 既存の定量的関係に対して、新たに制約として与えられた一次不等式が矛盾していないかどうか。
- 3) ある式が現在の定量的関係の中で、どのような値を取りうるか。

の3つを実現する。そのため、本研究では、連立一次不等式の数式処理の手段として、線形計画法のシンプレックス法の2段階法の手法を用いる。2段階法は、

- 1) 第1段階：与えられた連立一次不等式に、実行可能解が存在するかどうかの判別を行なう。
- 2) 第2段階：第1段階で得られた実行可能解を出発点として最適解を求める。

の2つの段階より構成される。第1段階の実行可能解の有無は、すなわち、制約として与えた連立一次不等式が全体として矛盾していないかどうかの判別を与える。また、シンプレックス法では、新たに制約となる不等式を追加したときに、はじめから再計算を行なうことなく、効率よく解の存在の有無の判定ができる。第2段階の最適化に関しては、評価したい式を目的関数として最適化(最大値および最小値)を行なうことで、とりうる値の範囲を得ることができる⁽⁴⁾。

時間に関する定量的関係の整合性管理を、線形計画法の2段階法で効率よく処理するためには、時間の定量的な制約式の特徴である、係数が1である2変数の不等式が多く現れることをうまく利用することが効果

Fig.2 Interval relations and time points values

的である。また、線形計画法において取り扱われる不等式は、一般に等号を含む不等式($\leq$)であり、制約に現れる等号を含まない不等式の式($<$)の取扱いに関して、等号が成立する境界部の処理を特別に行っている。

このように、定量的情報は半順序グラフ上の数値や範囲と、連立一次不等式の2つの形態で存在することになる。シンプレックス法での処理の結果として導出された変数の値や範囲は、半順序グラフ表現へと渡され管理される。このことにより、値の参照や範囲の評価の度にシンプレックス法による処理を行なう場合に比べて効率化される。また、値が確定した変数はシンプレックス法での制約から除外され、シンプレックス法で処理される制約を簡略化している。

3.6 定性的関係と定量的関係との整合性の管理

最後に要求機能の3に挙げた定性的関係と定量的関係との整合性を管理する手法について述べる。定性的な関係と定量的な関係は独立ではなく、相互に関連している。たとえば、時間区間 A の区間長を $L(A)$ とすれば、

$$R_v(A, B) = \text{during} \rightarrow L(A) < L(B)$$

のように、時間区間の定性的関係から区間長に関する定量的関係が導出されるし、逆に、

$$L(A) < L(B) \rightarrow \{\text{started-by equal contains finished-by}\} \cap R_v(A, B) = \phi$$

のように、定量的な関係から、とりうる定性的な関係が制約されることもある。図2に時間区間の端点の時刻と定性的関係との関係を図示したものを示す。

こうした定性的な関係と定量的な関係との相互の情報交換を随時行なうことが必要であるが、ここで定性

Fig.3 Data exchange scheme among three representations

的な関係と定量的な関係との取り扱い方法の違いに起因する問題点がある。定性的な関係の管理においては、とりうる定性的関係はすべてひとつの C-net として記述されており、選言 (OR) として与えられている定性的関係のさまざまな組合せは C-net に内包されている。すなわち、

$$(r_{11} \vee r_{12} \vee \dots) \wedge (r_{21} \vee r_{22} \vee \dots) \wedge \dots$$

の選言の部分をも陽に展開することはない。

他方、シンプレックス法に基づく定量的関係の管理においては、連立一次不等式として取り扱われる定量的関係は相互に連言 (AND) で結びついたものに限定され、選言 (OR) で結びついた式がある場合には、それを展開して、それぞれ連立一次不等式を構成する必要がある。たとえば、連立一次不等式 $F_1 \wedge \dots \wedge F_n$ に、選言で結合した2つの不等式 $F_a \vee F_b$ を追加すると、

$$(F_1 \wedge \dots \wedge F_n) \wedge (F_a \vee F_b) \longrightarrow (F_1 \wedge \dots \wedge F_n \wedge F_a) \vee (F_1 \wedge \dots \wedge F_n \wedge F_b)$$

のように、2つの連立一次不等式の組それぞれに関して整合性の検証を行わねばならない。これは、定量的な関係の整合性を管理する手法のシンプレックス法では、制約が作る解空間は、独立な変数の次元における単体 (凸立体) となる必要があるが、制約に選言が含まれると単体とはならないため、単体となるように選言の制約をそれぞれの制約へと分割するためである。

定性的な関係において管理されている選言的な関係は非常に多くの組合せを有しており、それを陽に展開して定量的な関係へと受け渡すことは、計算の効率上から考えて好ましくない。そこで、本研究では定性的な関係から定量的な関係への情報の受渡しは、定性的な関係が定まり、定量的な関係を与える不等式が一意に定まるときに行なうこととする。このことは言い替えると、定量的な制約の解空間が単体となるように定性的な関係が定まったときに、定性から定量へと情報の受渡しを行なうということである。

このような方法をとることで、定性的な関係の方では選言として考慮されている内容が、どれかに定まるまで定量的関係の方で考慮されないことになるが、定量的な関係の整合性管理の負担を大きく減らすことができる。また、あいまいな定性的関係から導出される定量的関係は制約として弱いものが多く、定量的な制約処理への影響は小さいと考えられる。なお、定量的関係から定性的関係への随時、情報が受け渡される。

図3に時間区間の定性関係、時点の定性関係と確定値、および定量的な関係管理との間の情報のやりとりの概念図を示す。

4. 時間情報モデリングシステム

以上述べてきた考え方にに基づき、時間情報モデリングシステム (Time Information Manager: TIM) を UNIX ワークステーション上に開発した。TIM の基本構成を図4に示す。

入力された時間情報は、ユーザ/アプリケーション・インタフェースにより、システム内部表現へと変換され、システム・マネージャを経て3つのデータベースへと分配される。図4の (A) においては時間区間相互の定性的関係を、(B) においては時点の前後関係と時刻、区間長の定量値を管理している。また、(C) において、連立一次不等式として与えられる定量的な制約を管理している。

TIM の持つ基本機能は以下の通りである。

- 1) 時間軸、時点、時間区間の生成
- 2) 時刻や区間長の指定
- 3) 時間区間相互の定性的関係の指定と整合性管理
- 4) 時間区間相互の定量的関係の指定と整合性管理
- 5) 時間区間相互の定性的関係に関する問い合わせ
- 6) 時刻や区間長の取りうる値の範囲の評価

Fig.4 Basic architecture of Time Information Manager

- 7) ある時間区間と特定の関係を持つ時間区間の抽出
- 8) 複数の時間区間の間の定量的な関係の評価
- 9) 時間区間に対する集合演算
- 10) 時間情報のグラフィック表示

最後の時間情報にグラフィック表示に関しては、時間区間の始点の取りうる値の範囲、終点の取りうる値の範囲、区間長の取りうる最大長、最小長をそれぞれグラフィック表示によりユーザに提示している。

より複雑な機能は、これらの基本機能を組み合わせとして実現する。たとえば、「ある時間区間と指定された関係をとる時間区間の中で、最早の始点をもつ時間区間の抽出」という機能は、上記の7と6の基本機能を用いて定義することができる。

プランニングをはじめとするアプリケーション・プログラムは、TIMを用いることで時間情報に関する推論や管理を独立させることができる。ただし、記述されている時間区間の意味付け—その時間区間が何を表現しているのか—は、アプリケーション・プログラム側で記述する必要がある。

5. TIMの動作例

つぎに、TIMを用いた時間情報の生成、推論の一連の例を図5～8に示す。

Fig.5 Example of TIM application (scheduling: step1)

Fig.6 Example of TIM application (scheduling: step2)

ここでは、太郎、花子、次郎の3人の会社でのスケジュールを例にとり、定性的な関係の指定、時刻、区間長の指定、定量的な制約の指定などを順次指定していったときの、時間区間の取りうる状態をグラフィック表示させている。

図5では時間軸は線形で時間システムとしては時分での表現が用いられている。ここでは、太郎、花子、次郎の会社の滞在時間 (t-co, h-co, j-co) との昼食時間 (t-lu, h-lu, j-lu) が生成 (create-interval) され、それらの間の定性的関係 (昼食は会社の滞在時間内、等) の指定 (assert-rels) や時間的属性 (太郎の滞在時間は10時以降、18時前のどこか、等) の指定 (set-value2) が行なわれている。ここまでの情報では時間区間がほとんど確定されず、始点時刻、終点時刻が広い存在可能範囲 (薄い網掛けでの表示部分) をもつ。また、取りうる最大区間長と最小区間長との差も大きい。

図6においては、先ほどの結果に対して太郎と次郎とのミーティング (m-tj) および太郎と花子とのミーティング (m-th) が新たに追加されている。ミーティングは参加者の会社滞在時間中 (during) に行なわれること、

Fig.7 Example of TIM application (scheduling: step3)

Fig.8 Example of TIM application (scheduling: step4)

昼食とは干渉しない (not-conflict) こと、太郎の関わる2つの会議も干渉しないこと、ならびに会議の時間長さが指定 (set-length2) されている。これらの情報が追加されたことで、太郎の会社滞在時間 (t-co) と、花子の滞在時間 (h-co) に関して、必ず会社に滞在している時間区間 (図中の濃い網掛け部分) が生じている。時間区間によるグラフィック表示では、区間相互の定性的前後関係が不明であるので、ここでは時点の間の半順序関係を重ねて表示している。

図7では、来客に関する2つの時間区間 (g-v, j-v) を生成し、それに対して、時間値の範囲での指定や、既存の時間区間との定性的関係の指定を行なっている。

これらの情報の追加により、図6の段階と比べて t-co, h-co, j-co, m-tj などの取りうる範囲が限定されてきているのがわかる。また、ここでは m-tj と他の時間区間が取りうる定性的関係を表示させている。m-tj に対する定性的関係が一意に決まっている時間区間 (たとえば t-co, m-th) もあれば、g-v のようにまったく決まっていない (no-inf) の時間区間もあることがわかる。

図8では、”2つの会議 (m-tj, m-th) と来客 (j-v) の時

間長さの合計は450分以上である”と、“花子の会社の滞在時間から昼食を引いた時間は350分以上である”，という2つの定量的関係を入れて、時間情報を詳細化している。ここで追加した定量的関係に対して、(eval-rel) で陽に評価することを指示することで、定量情報と定性情報との間で情報のやりとりが行なわれ、各時間区間の取りうる定性関係も再計算される。この例では、m-tj, m-th, j-v などが先ほどに比べて取りうる範囲が限定されており、より確定的になってきているのがわかる。

6. TIM の評価と課題

TIM は4であげた10の基本機能を総合することにより、時間情報のモデリング・システムとして、

- 1) 複数の時間軸のサポート
- 2) 複数の時間システムのサポート
- 3) 時点、時間区間の定性的、定量的関係の記述とそれらの整合性管理
- 4) 時間区間の集合演算 (定性的記述レベルと定量的記述レベル)
- 5) 定量的関係を制約とした最適化

などの時間情報を一貫して扱う手段を提供しており、スケジューリングやシミュレーションなど、さまざまな用途にも適用可能である。

時間情報の取扱いに関しては、人工知能や論理学の分野を中心にこれまで多くの研究がなされている。たとえば、定性的な関係の記述と整合性管理の手法に関しては、Allen が提示した整合性管理アルゴリズムをより精密化、効率化する一連の研究がある⁽⁵⁾⁽⁶⁾。また、時点と時間区間を併用する研究⁽⁷⁾や、時間情報を定性的なものとの定量的なものに類別して表現し、それを統合化して管理する研究⁽⁸⁾⁽⁹⁾など、時間情報の表現、推論能力を向上させようとする試みも最近は多く行われている。ただしこれらの研究で取り扱われる定量情報は、2つの時点または時間区間の間の定量的情報であり、3項以上の時点や区間が関わる場合の取扱いができない。また、佐々木⁽¹⁰⁾は本研究と同様に定量情報の取扱いに線形計画法を用いているが、対象とされる定量的制約の範囲が限定されていることと、等号を含まない不等式の取扱いに問題がある。

これらの研究と本研究で開発したTIMとの大きな違いは、TIM では時間の構成要素の時点や時間区間をモ

デリングの対象として定性的なレベルから定量的なレベルまでを一貫した処理対象として扱い、段階的な詳細化の手段を提供している点にある。また、そのために複数の表現方法や推論方法を併用し、総合的にみて高い記述、推論能力を実現している。

ただし、TIM に関して多くの課題も残されている。その中で特に重要なものとして以下の2点がある。

- 1) インテリジェント・バックトラッキングの実現: 現在の TIM では、操作の取り消しや変更を実行するには、後戻りする時点での定性的、定量的関係や属性に関する環境が保存されていなくてはならない。定量的な関係処理部においては、任意の関係(制約)の消去あるいは変更が可能であるのに対して、定性的な関係の整合性管理アルゴリズムで用いている制約ネットワークに対して、ATMS を用いたインテリジェント・バックトラッキング機構を適用するのが困難であり、TIM 全体としては効率的なバックトラッキングが実現できていない。試行錯誤を通じて決定していくプロセスに対応するために、なんらかの効率的なバックトラッキングの機構の実現が必要である。
- 2) 定性的関係と定量的関係の整合性の向上: さきに述べたように、TIM では定性的な関係の記述と、定量的な関係の記述との間に、記述の内容の差異が存在する。これは、定性的な関係記述が可能性をすべて記述、処理するのにに対して、定量的な関係記述では確定したことのみが記述、処理されることに起因している。この差異を少なくするためには、定量的な関係の取扱いに関して、選言的な条件で分岐する場合についても、効率的な処理を可能とすることが必要である。

今後、TIM をより汎用的な時間情報のモデリングシステムとして発展させるためにもこれらの課題を解決することが重要である。

7. おわりに

以上、設計・生産における各種の時間情報を総合的にモデリングする手法の提案とそれに基づく時間情報モデリングシステム TIM について述べてきた。

本研究のねらいである、時間情報をアプリケーション・プログラムから分離して独立したモデリングの対象とすることにより、時間を実体として定義、操作、参照することを一部実現した。こうした方向性は、今後

各種の時間の関わる協調的な問題解決を行う上での共通作業基盤として有効に利用されるものと考ええる。

最後に、本システムの開発に当たっては、通商産業省工業技術院電子技術総合研究所の松井俊浩博士の開発したオブジェクト指向 Lisp 言語である Euslisp を使用させていただいた。氏のご厚意にこの場をお借りしてお礼申し上げる。

文 献

- (1) Allen, J.F., Maintaining Knowledge about Temporal Intervals, *CACM*, **26**-11 (1983) 832.
- (2) Onosato, M., Iwata, K., and Nishida, S., Modeling Time Information in Manufacturing, *JSME Int. J.*, **35**-324C (1992) 207.
- (3) Beek, van P., Exact and Approximate Reasoning about Qualitative Temporal Relations, PhD thesis, Univ. of Waterloo, Ontario, Canada (1990).
- (4) 岩田一明・小野里雅彦・福田圭一・尾形俊明, 時間情報管理システム—TIM—の開発(第2報 数式処理による定量情報の取り扱い), 1991 年度精密工学会学術講演会講演論文集, (1991) 473.
- (5) Dean, T. and Boddy, M., Reasoning about Partially Ordered Events, *Artificial Intelligence*, **36** (1988) 375.
- (6) Ghallab, M., and Alaoui, M., Managing Efficiently Temporal Relations Through Indexed Spanning Tree, Proc. IJCAI'89, (1989) 1297.
- (7) 丸一智己・安西祐一郎, 時間制約論理モデルとその応用, 人工知能学会誌, **6**-3 (1991) 407.
- (8) Kautz, H.A., Ladkin, P.B., Integrating Metric and Qualitative Temporal Reasoning, Proc. AAAI-91, (1991) 241.
- (9) Meiri, I., Combining Qualitative and Quantitative Constraints in Temporal Reasoning, Proc. AAAI-91, (1991) 260.
- (10) 佐々木寛・山田誠二・豊田順一, 定量的制約とリレーションによる時区間の時間的性質の決定, 情報処理学会研究会報告 92-AI-80 (1992).