TR-212

論証支援システムの一構成

南　俊朗、沢村　一

(富士通)

November, 1986

ICOT

Mita Kokusai Bldg. 21F
4-28 Mita 1-Chome
Minato-ku Tokyo 108 Japan

(03) 456-3191－5
Telex ICOT J32964

Institute for New Generation Computer Technology

論証支援システムの一構成

A Construction of Computer-Assisted-Reasoning System

南　俊朗，沢村　一
（富士通㈱・国際情報社会科学研究所）

論理的モデルを構築し，その操作によって，問題解決を図るという方法を支援する汎用のシステムとしての論証支援システムの考えを提案する．システムの利用者は，まず，対象領域に応じた論理系を設定し，次に対象に対する公理系を定めて，対象の論理的モデルを定義する．その後，この論理系の論証を通じて対象の性質を明らかにする．論証支援システムは，このような論理的モデル構築のためのメタシステムである．

1．はじめに

問題解決のための有用な方法の1つとして，論理的なモデルを用いる方法がある．すなわち，問題となっている対象に対する論理的モデルを定義し，そのモデルの上での対象操作によって問題解決を図ろうというものである．我々が論証支援システムという名前で想定しているものは，このような論理的モデルに基づく問題解決者のための支援システムである．論理的モデルを構築するためには，まず，対象領域の特質に応じた論理系の設定を行わなければならない．次に設定された論理系における公理系の設定によって目的とする対象をモデル化する．最後に，定義されたモデル内での証明を構成する過程を通じて，そのモデルの性質を検証する．

特定の論理系を対象とした，証明チェッカー等の研究はすでに，様々存在する（［1～5］等）が，我々が目差すものはそれらと異なり，汎用であり，論証過程全般を支援するメタ・システムである．現在，上記の機能の一部として，論理式エディタ，証明コンストラクタの部分の機能を試作中である［6～8］．

以下，第2節では論証支援システムがどのようなものであるかを更に詳しく述べ，第3節では，その構成案を提示し，第4節では現在の研究・開発状況を概説する．第5節で，全体のまとめと今後の課題について述べる．

2．論証支援システムとは

前節で述べたように論証支援システムは論理系，公理系の定義による論理的モデルの構築，及び証明操作に対する支援を行うシステムである．具体的にいうと次のようになるものと考えられる．

論証支援システムの利用者はまず，問題となる領域の論理的モデルを構成する．問題領域としては様々なものが考えられ，それぞれに最適の論理系を用いるためには，ある汎用の論理系を固定し，その論理系の下で全てを扱うという考え方はとれない．したがって，論証支援システムは，論理系自体の定義機能を備えている必要がある．また，一旦設定した論理系に対して，その後の展開の都合で，変更を施すことが考えられるので，論理系の更新機能も必要となる．論理系が設定されたら，次にその論理系の下で，問題のモデルを作成することなる．問題は公理系の形で表現することになる．従って，公理系に対する編集・操作機能が要求される．また，以前に使用した公理系の一部もしくは全部を用いて新しい公理系を定義することも，当然，起ることが考えられるため，公理系ライブラリの管理機能も必要となる．最後に，定義された公理系の下で，対象モデルに対する性質の検証等の論理的操作を施す局面になる．この局面においては，証明の構築を支援する機能が必要となる．証明された定理は，その後の証明において参照され，証明を簡単化するのに役立てられる可能性がある．当然，証明に対してはその正当性を保証するための機能が必要であり，その中で参照された証明の正当性を引用することがおこり，そのための管理機能が用意されていなければならない．更に，利用者に対する使い勝手もこのようなシステムにおいては重要であり，ヘルプ機能等のインターフェースについても種々の支援機能が必要となる．

以上の説明中，対象モデルに対する証明を行っている様子は図1で表される．

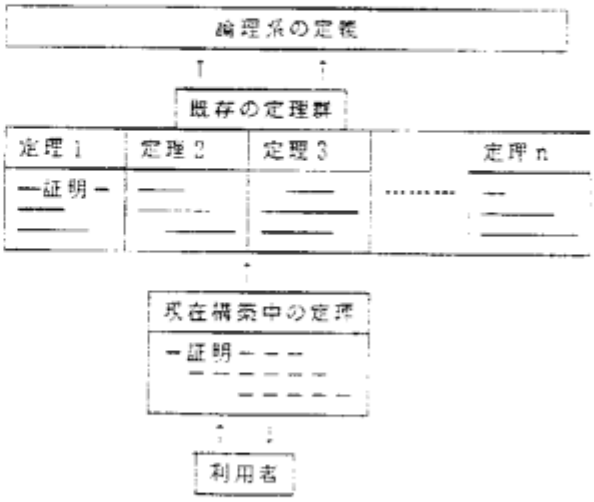

図1　定理構築過程の概念図

3．論証支援システムの構成

前節で述べたようなシステムを実現するためにはどのような構成をとれば良いであろうか．現在考えている構成図を図2に示す．

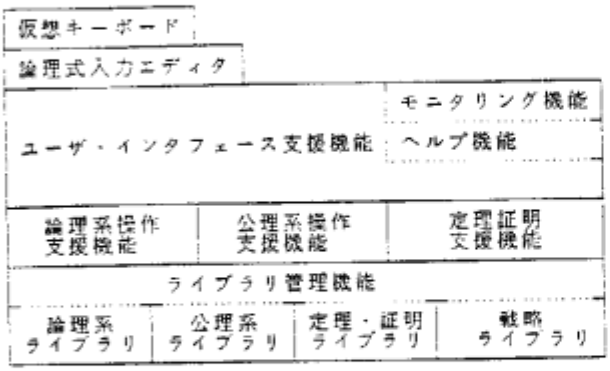

図2　論証支援システムの構成

以下，それぞれの機能について説明する．

3.1　ユーザ・インタフェース支援機能

表示はビットマップ画面上の多重ウィンドウに行うことを想定する．論証支援システムにおいては，通常の文字のみでなく，種々の論理記号を入力する必要が生ずる．そのための方式としては，日本語入力におけると同様の変換方式も考えられるが，ここでは仮想キーボードによる入力を考える．すなわち，実在のキーボードに割り付けられた文字を固定的に入力する代りに，間に画面に表示される仮想のキーボードを置き，実在のキーボード上のキーを叩くことで対応する仮想キーボード上のキーに割り付けられた文字を入力する方式である．仮想キーボードへの文字の割り付けは自由であるので，論理記号を入力したい場合はそのキーを持った仮想キーボードを呼び出し，その記号に対応する現実のキーを叩くことになる．この方式の長所は，表示された記号を直接見ながら，記号を入力できることにある．

論証支援システムでは，当然のことながら，論理式を何度も入力しなければならない．簡単な論理式だけではなく，複雑な論理式を間違いなく入力するのは大変なことである．単に，ディリート・キーによって1字前を消去するという程度の編集機能では不足である．そのため，論理式専用の編集機能を用意する．これは論理式用の構造エディタであり，通常の編集機能以外に簡単な，簡約化機能等の論理式特有の編集機能を持つ．

また，ユーザ・インタフェース支援機能の1つとしてモニタリング機能を提供する．システムとユーザとの対話の記録を採るだけでなく，ユーザの反応の様子を解析して，システムの改善に役立てる．また，システムの使い勝手の定量的評価のための基礎データを採るのにも役立つことが期待できる．

ユーザがシステムを使用する場合，最初は全体の様子が分らないこともあり，適切なヘルプ機能が期待される．本システムでは単なるマニュアル検索機能ではなく，ユーザのモニタリング・データを活かしたより深切なヘルプ機能を目差す．たとえば，何らかの入力用のプロンプトが表示されている時，どういう情報をどういう形で入力したら良いかが分らないとする．ヘルプ機能を呼び出すことで，この疑問が解けるようにする．また，一般的な説明もヘルプ機能により，実現される．

以上より論証支援システムの画面は，次の図3のような構成となろう．

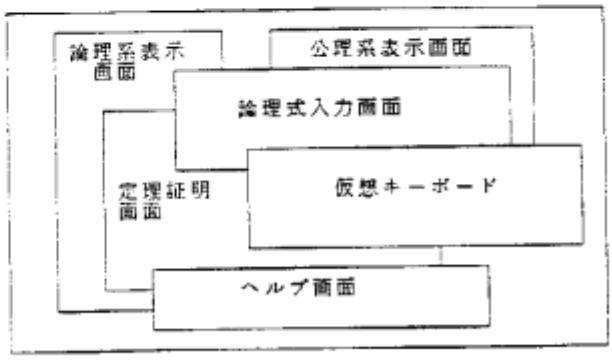

図3　論証支援システム利用時の画面構成

3.2　論理系操作支援機能

論理系を定めることは，ある状況を記述するための言語の基本的枠組みを定めることであり，記述文の構成規則を定めることと考えられる．

そのためには，まず，用いられる記号体系を定める．記号の属性として，構文型（変数，定数等の構文上の用いられ方を規定する），型（整数，リスト等，意味上の範疇を規定する）等がある．演算子として用いられる記号に対しては演算子型（前置，内置，後置），結合力等を定める．

記号をどう組み合せて項，（論理）式を定めるかも定義できる必要がある．通常は標準的な項，式の再帰的定義を採用するにしても，特別の概念が必要となる場合があるかも知れないからである．

式の構文が定まると，次に推論規則，及び書き換え規則を定める．これらの規則はその論理系で必然的に成り立つ変形規則を表わすものであり，対象に依存しない，普遍的な規則が表現される．

これらの，定義を行うためには，何らかの論理系記述言語が必要となる．この記述言語による論理系の定義，およびそれらに対する修正を行い，その結果を論理系ライブラリとして保存するのが論理系操作支援機能の役割である．

3.3　公理系操作支援機能

論理系が，記述言語の基本的な枠組みを与えるのに対して，公理系は個々の論理的モデルを規定するための規則群

であり，公理系すなわち論理的モデルと考えることができる．公理系操作支援機能は公理系の入力，修正，ライブラリへの登録を行う．

公理系を定めるために，以前，定義された公理系を参照することは良く起ることである．たとえば，数学において，幕の公理を満たし，位相を持った対象のことを位相群と呼ぶが，数学以外のモデルを考える場合にもこのような概念構成は必要となる．そのため，公理系操作支援機能として公理系ライブラリの管理機能が必要となる．

3.4　定理証明支援機能

定理証明支援機能は定理の証明構築のための編集機能を提供し，また，できあがった定理・証明のライブラリへの登録を行う．ある定理を証明するために，既に証明されてある定理を参照することも起る．また，証明を行う際に，別の定理の結果でなく，証明を参考にする場合も生ずる．したがって，定理自体の変更のみならず定理の証明の変更に対して，それを参照している定理・証明の有無が問題となる．このような定理間の参照関係の管理も定理証明支援機能の役割となる．

定理の証明を行う場合において，汎用でしかも効率的な証明法というものは存在しないため，どのような方針で証明を試みるかという証明戦略は重要である．従って，証明のための戦略ライブラリを設ける必要があり，その参照，登録も定理証明支援機能の役割となる．

4．論証支援システムの現状

前節では，論証支援システムとして必要な機能について述べた．現在，推論機械ＰＳＩ上での論証支援システムの実現を目指して研究・開発中である．現在のシステムは前述の機能の内，論理式入力のためのエディタ機能，ＥＫＬ［１］風の定理証明支援機能からなっている．その概要を図４に示す．また，仮想キーボードの一例を試作したが，他の機能とは，これから結合する予定である．

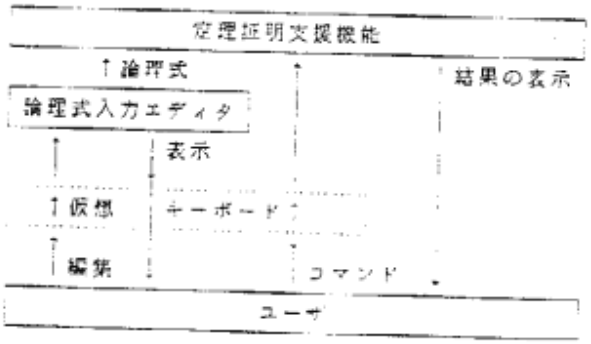

図４　システムの現在状況

以下，各々の構成要素について概説する．

4.1　論理式入力エディタ

論理式入力エディタは論理式の木構造に対する構造エディタとなっている．木構造は次の図５で示される形式で表示され，操作の対象はマウスを用いて木の枝やノードをポイントすることで示し，操作の指定は，対応するキーを叩くことで行う．次の図４は，ｐの下のｘとｙの間のポイントし，Ｃ－ｉキーを叩くことで，ｘとｙの間に式ｇ（ａ）を挿入する例を示している．

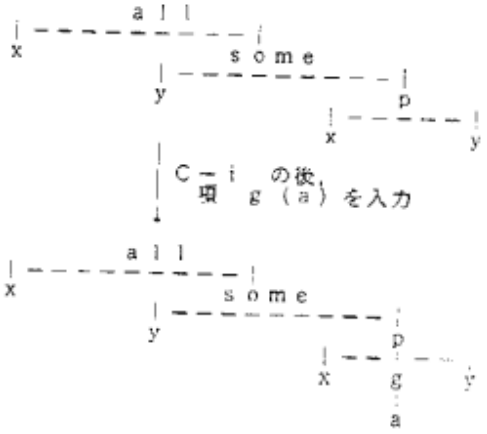

図５　論理式入力エディタの使用例

4.2　定理証明支援機能

定理証明支援機能は図１で示した概念の定理証明過程を支援するための機能である．現在のところ，論理系の定義機能としては記号系の定義，すなわち，変数，定数，関数記号，演算子等の宣言が可能である．証明過程において既存の定理の証明は随時参照可能である．証明過程は自然演繹法に基づいた推論規則，及びＥＫＬ［１］風の項書き換えによる，標準的な項書き換えは，新しい式が生成されるたびに適用され自明な同値変形を施す．その他，指定された式を書き換え規則として適用することも行われる．ＥＫＬにない機能としては，自然演繹法による推論規則を適用可能としている．

4.3　仮想キーボード

現在試作している仮想キーボードは次の図６に示すように実在のキーボードを仮想化したものである．

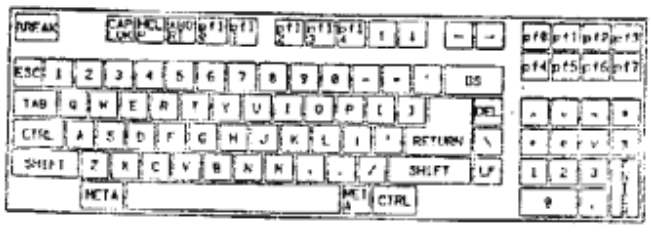

図６　仮想キーボード

キーボードから入力された文字はコード変換を経てキーボードの呼び出し元へ返される．入力は実在のキーボードの

キーによって行う外，マウスで仮想キーボード上のキーをクリックすることでも可能である．その場合，シフト，メタ，コントロールの各キーはクリックすることでロック／アンロックが可能である．

5．おわりに

計算機による論証支援システムの目差すもの，そして，そのためには，どのような機能が必要とされるか，また，研究・開発の現状について説明した．現在，想定される論証支援システムに対して，部分的な機能の試作をはじめたばかりの段階であり，マルチ・ウィンドウの環境を活かしたユーザ・インタフェースはどうあるべきか，論理系その他の記述言語をどうするかの問題など，研究すべき課題が多く残っている．また，システムができあがった後の使用経験を活かした改善も必要となろう．今後，このような点について機能の改善および追加を行っていく予定である．

謝辞

日頃御指導，御鞭撻をいただく北川会長，榎本所長に感謝いたします．また，システムのインプリメントの大部分を行った富士通研究所の佐藤かおる，土屋恭子，並びに富士通ＳＳＬの市川正敏の各氏にも感謝します．なお，本研究の一部は第五世代コンピュータ・プロジェクトの一環としてICOTの委託で行ったものである．

参考文献

[1] Ketonen, J. & Weening, J. S. : EKL - An Interactive Proof Checker, User's Reference Manual, Dept. of Computer Science, Stanford University, 1984.

[2] Gordon, M. J., Milner, A. J. and Wadsworth, C. P. : Edinburgh LCF, LNCS, Springer-Verlag, 1979.

[3] Aponte, M.V., Fernandes, J.A., Roussel, P.: Editing First-Order Proofs: Programmed Rules vs. Derived Rules, Int. Symp. on Logic Programming, 1984.

[4] Eriksson, A., Johansson, A.-L., Tarnlund, S.-A.: Towards a Derivation Editor, Proc. of the 1st Int. Logic Programming Conf., 1982.

[5] ICOT CAP-WG: CAPプロジェクト(1)～(6), 情報処理学会第32回全国大会, 1986.

[6] 沢村，南，佐藤，小野，小野：論理式エディタ，構造エディタに関するワークショップ，１９８６年５月．

[7] 佐藤，小野，小野，沢村，南：論証支援システムのための論理式エディタ，情報処理学会第33回全国大会，1986.

[8] 南，沢村：論証支援のための証明コンストラクタ，情報処理学会第33回全国大会，1986.

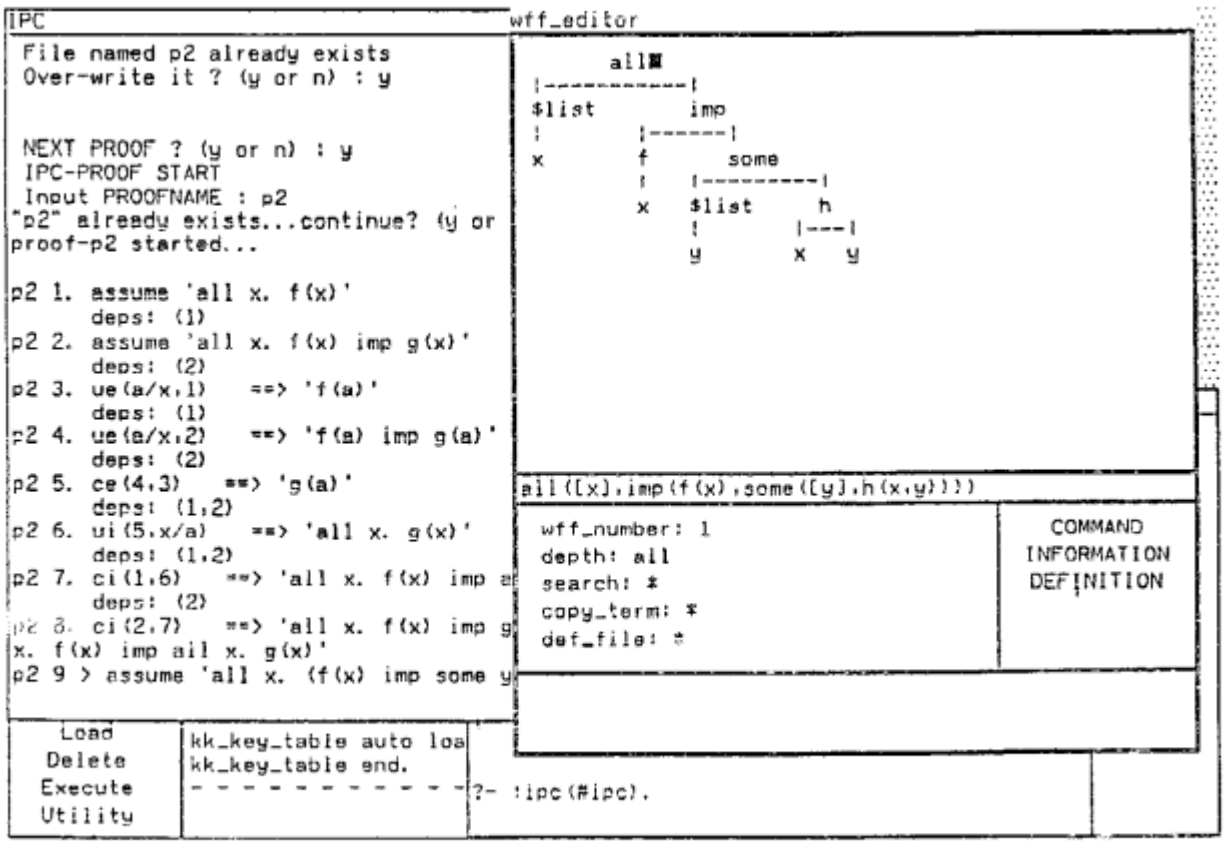

図７　ＰＳＩ上の定理証明機能使用例