汎用論証支援システム
EUODHILOS

ICOT 第1研究室
富士通（株）国際情報社会科学研究所
南 俊朗

研究の目的

様々な領域において人間が行っている論証を計算機によって支援する

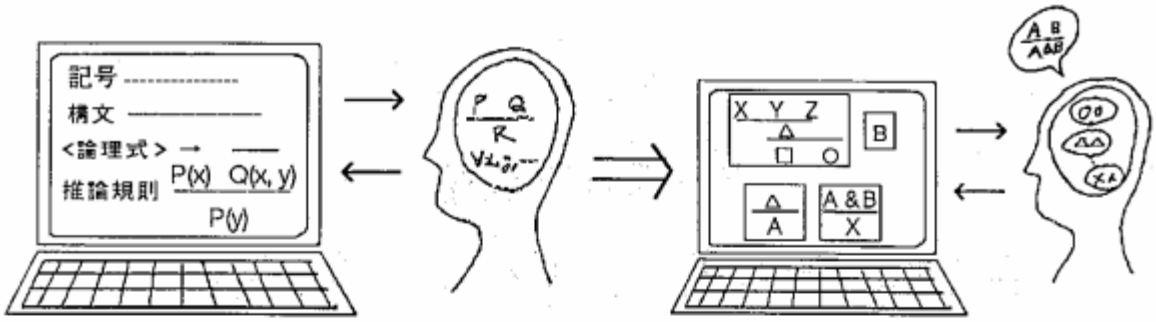
Computer Assisted Reasoning

ねらい：

様々な領域に対して一様な支援を行う

人間と計算機の協力によって証明を発見することで自動証明が困難な定理をも対象とする

汎用論証支援システムのイメージ



汎用性(論理系独立)　　柔軟性・操作性

論理系定義　　視覚的証明構成

"Every universe of discourse has its logical structure." by S. K. Langer

EUODHILOS

論証の支援形態

自動定理証明 (BMTP)

人が与えた論理式の証明をシステムが自動的に探索し発見する。

証明チェッカ (AUTOMATH, PL/CV2, CAP-LA)

人が与えた証明の正当性をシステムが検証する。

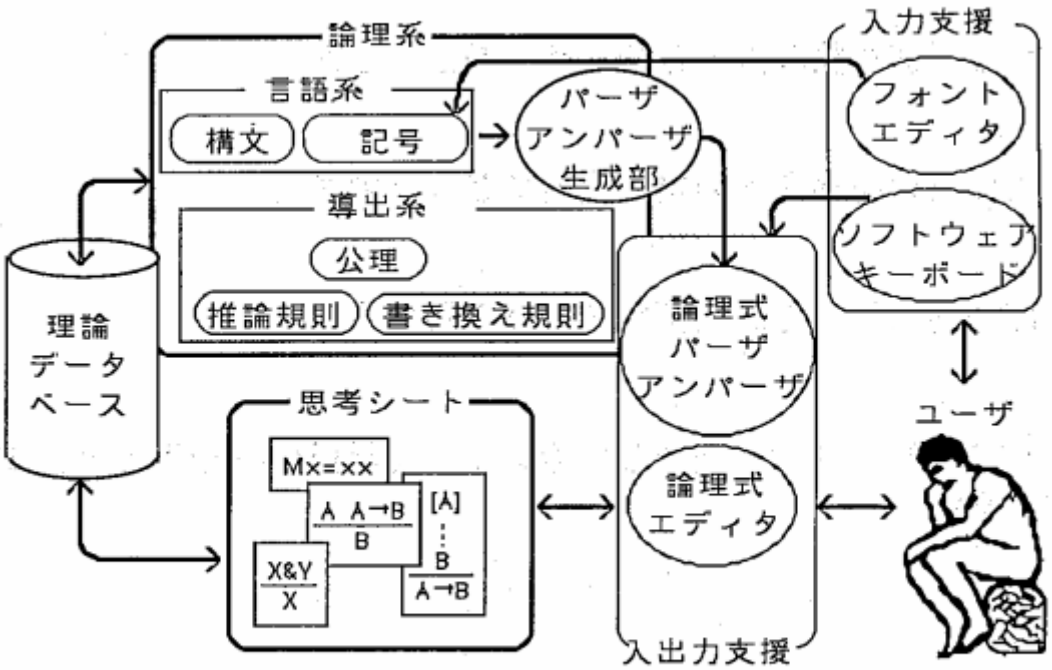
証明コンストラクタ（対話的証明チェッカ）(LCF, FOL, EKL, Nuprl)

固定された論理系に対して、人とシステムが対話しながら証明を構成する。

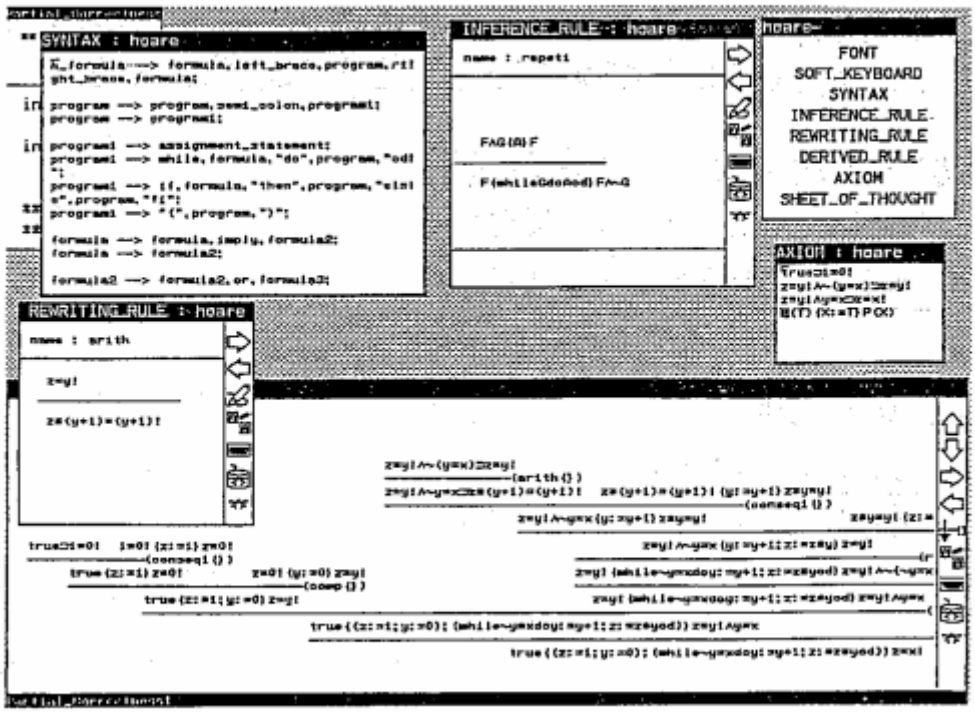
論証支援システム (EUODHILOS)

人が論理系を定義するのを支援し、更に、その論理系の下での証明を人との対話を通じて構成する。

EUODHILOSの全体構成



EUODHILOS画面例



論証支援システム実現のポイント

(1) さまざまな論理系をどのように記述するか

(2) 論理系の記述をその後の段階にどう反映させるか

(3) 部分的に構成された証明をどう表現するか

(4) 小さな証明断片を結合して最終証明を構成する過程をどう支援するか

EUODHILOSにおける論理系記述方式

(1) DCGを基本とする言語系(構文)記述

DCGの特徴

文脈自由文法に準じた分かりやすい記法であると同時に文脈に依存した構文も記述できる表現力がある

(2) 自然演繹法スタイルの推論規則

[仮定1] [仮定2] …… [仮定3]

前提1 前提2 …… 前提3

結論

(3) 書き換え規則

書き換え前の表現

書き換え後の表現

論理系の記述例

構文記述

```
formula --> formula, "⊃", formula1;
formula --> formula1;

formula1 --> formula1, "|", formula2;
formula1 --> formula2;

formula2 --> formula2, "&", formula3;
formula2 --> formula3;

formula3 --> "(", formula, ")";
formula3 -->  "~", formula3;
formula3 --> basic_formula;
          ⋮
operator "⊃", "|", "&", "~";
```

推論規則

$$\frac{\begin{array}{c}[A]\\ B\end{array}}{A \supset B} \qquad \frac{A \quad A \supset B}{B}$$

$$\frac{A \mid B \quad \begin{array}{c}[A]\\ C\end{array} \quad \begin{array}{c}[B]\\ C\end{array}}{C}$$

書き換え規則

$$\frac{A \supset B}{\sim A \mid B}$$

パーサ・アンパーサの自動生成

```
formula --> formula, "⊃", formula1;
formula --> formula1;

formula1 --> formula1, "|", formula2;
formula1 --> formula2;

formula2 --> formula2, "&", formula3;
formula2 --> formula3;

formula3 --> "(", formula, ")";
formula3 -->  "~", formula3;
formula3 --> basic_formula;
          ⋮
operator "⊃", "|", "&", "~";
```

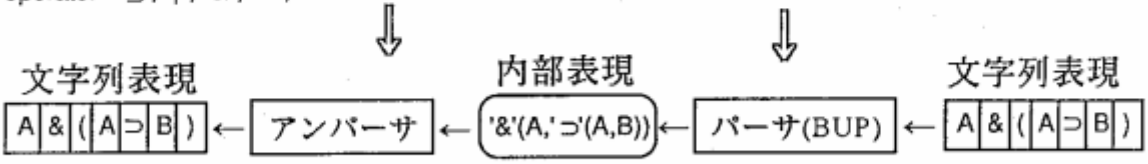
⇒

```
formula('⊃'(F,F1)) --> formula(F), "⊃", formula1(F1);
formula(F1) --> formula1(F1);

formula1('|'(F1,F2)) --> formula1(F1), "|", formula2(F2);
formula1(F2) --> formula2(F2);

formula2('&'(F2,F3)) --> formula2(F2), "&", formula3(F3);
formula2(F3) --> formula3(F3);

formula3(F) --> "(", formula(F), ")";
formula3('~'(F3)) -->  "~", formula3(F3);
formula3(F) --> basic_formula(F);
          ⋮
```



EUODHILOSにおける証明構成（思考シート）

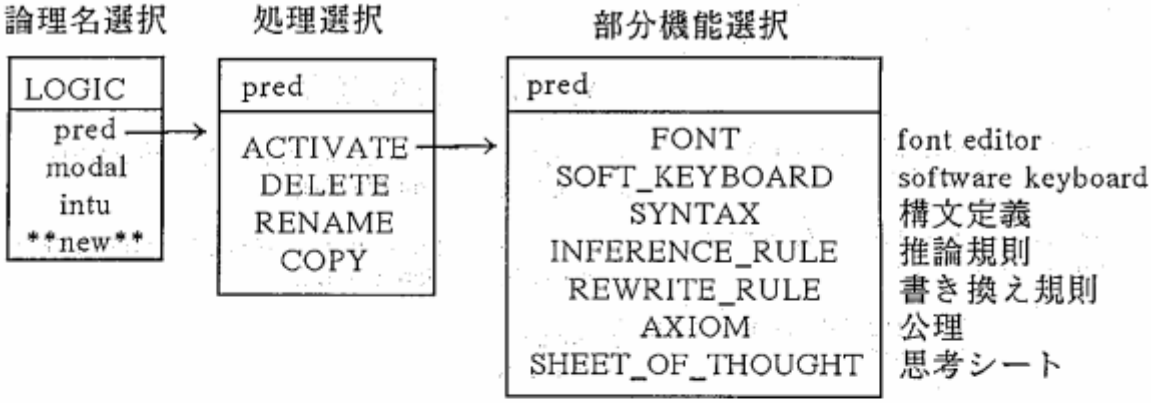
(1) ユーザの定義した論理系に関する証明構成を支援

(2) 理解しやすい自然演繹法スタイルで証明の木構造を表示し、その表示の形のままで操作できる証明編集環境

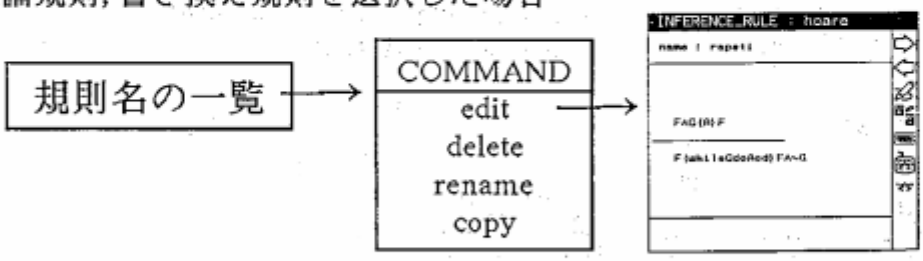
(3) 人間の考え方の様々な形態に対応するために前向き・後ろ向き・補間の３つの形態の導出手段を提供する

(4) 論理式の構造をわかりやすく表示、編集するための論理式エディタを呼び出すことができる

EUODHILOSの操作手順



推論規則，書き換え規則を選択した場合



思考シート上の操作

基本操作:　　仮定入力　　[∀ x.(~A(x))]　　定理入力　　A(x) ⊃ A(x)

導出:　　前向き(下への)導出　　A　　A ⊃ B　→　$\dfrac{A \qquad A \supset B}{B}$

規則を指定 (⊃E)

後ろ向き(上への)導出　　A & B　→　$\dfrac{A \qquad B}{A \,\&\, B}$

規則を指定 (&I)

補間導出　　A　　B　→　$\dfrac{A \qquad B}{A \,\&\, B}$

A & B

規則を探索 (&I)

証明断片の結合・分離

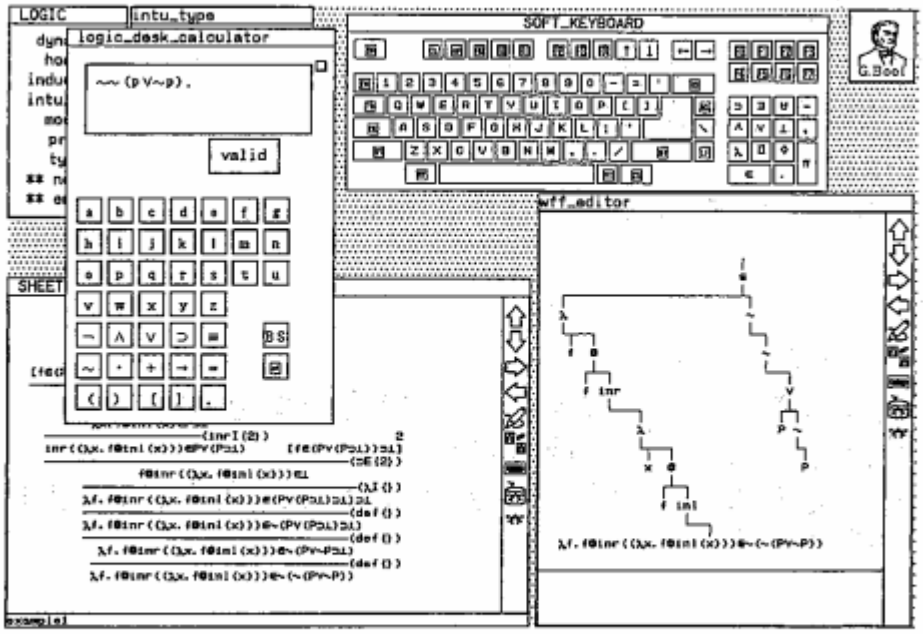
$\dfrac{[A] \qquad [A \supset B]}{B}$　　$\dfrac{\dfrac{[B]}{C} \qquad [D]}{E}$

Bで結合 →

← Bで分離

$\dfrac{\dfrac{[A] \qquad [A \supset B]}{B}}{\dfrac{C \qquad [D]}{E}}$

その他の支援ツール



EUODHILOSで扱った論理系・証明の例

(1) 一階論理

de Morganの法則などの簡単な式

Smullyanの論理パズル

停止問題の非可解性

(2) 様相命題論理

(3) Martin-Löfの型の理論

(4) 内包論理

(5) 組み合わせ論理

今後の課題

(1) 問題点の改良

(i) 論理系記述法の改善
記述力、記述の容易さの向上

(ii) 操作性の改良
論証の際の思考に合った操作法を追求する

(2) 新機能

(i) モデルの取り扱い
意味論的考察も行いながらの論証を可能とする

(ii) 階層構造を持った理論群の管理
理論と理論の関係をシステムが把握し、理論間の証明変換等に役立てる

まとめ

EUODHILOS：

(1) 汎用性,操作性 を特徴とする論証支援システム

(2) DCGによる論理表現の構文記述

(3) パーサ・アンパーサの同時生成

(4) 自然演繹法スタイルでの証明の表示・編集(思考シート)

証明例