

# 複合数式検索を対象とした入力支援 GUI “ MathGUIDe ” の実現

村方 衛<sup>†</sup> 岸本 貞弥<sup>†</sup> 大塚 透<sup>††</sup> 中西 崇文<sup>†</sup> 櫻井 鉄也<sup>†††</sup>  
北川 高嗣<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> 筑波大学大学院システム情報工学研究科

<sup>††</sup> 富士ゼロックス株式会社

<sup>†††</sup> 筑波大学大学院システム情報工学研究科

E-mail: <sup>†</sup>{murakata,kishimoto,takafumi}@mma.cs.tsukuba.ac.jp, <sup>††</sup>Toru.Otsuka@fujixerox.co.jp,

<sup>†††</sup>{sakurai,takashi}@cs.tsukuba.ac.jp

あらまし 現在，デジタル化された論文やマニュアルなどの数式を含んだ文書が web 上に散在している．我々の研究グループでは，数式を含んだ文書を対象にした言葉と数式による複合数式検索を実現している．数式検索において，検索する数式のデータを入力する作業はユーザにとって大きな負担であった．一方，我々は数式の入力を支援するための GUI “ exGUIDe ” の開発を行っている．これは，数式の入力を簡単に実現し，様々な形式の数式データを得ることを実現している．本稿では，複合数式検索を対象とした入力支援 GUI “ MathGUIDe ” の実現について示す．

キーワード ユーザインタフェース，入力支援，MathML，数式検索

## Realization of the input support GUI “ MathGUIDe ” for a complex mathematical formulas search

Mamoru MURAKATA<sup>†</sup>, Sadaya KISHIMOTO<sup>†</sup>, Toru OTSUKA<sup>††</sup>, Takafumi NAKANISHI<sup>†</sup>,  
Tetsuya SAKURAI<sup>†††</sup>, and Takashi KITAGAWA<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

<sup>††</sup> FUJI XEROX

<sup>†††</sup> Faculty of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

E-mail: <sup>†</sup>{murakata,kishimoto,takafumi}@mma.cs.tsukuba.ac.jp, <sup>††</sup>Toru.Otsuka@fujixerox.co.jp,

<sup>†††</sup>{sakurai,takashi}@cs.tsukuba.ac.jp

**Abstract** Technical-writings documents which contained digitized mathematical formulas, such as papers and manuals, are scattered on web. A complex mathematical formulas search with language and mathematical formulas has been realized into our group. In a general mathematical formulas search, the input of the expression to search has a large burden for a user. On the other hand, we have developed GUI “exGUIDe” for supporting the input of mathematical formulas. This GUI simplifies the input of mathematical formulas and is enabled to obtain the mathematical formulas data of various form. This paper shows realization of the input support GUI “MathGUIDe” for the complex mathematical formulas search.

**Key words** userinterface,input support,MathML,mathematical formulas search

### 1. はじめに

現在，様々な特定分野の専門家が，その関心に基づく質の高い情報を他の利用者に提供するシステムへのニーズが高まっている．既に，コンピュータネットワーク上に特定分野を対象とした多種多様な情報群が広域に遍在しつつある．これらの情報

を対象とした，高度な検索方式と知識の発掘方式が重要となっている．

ここで科学技術分野に注目すると，科学技術分野の情報の多くには数式が含まれており，それらの数式の持つ意味が重要となる場合が多い．このような科学論文等の数式を含んだドキュメントについて，意味的な内容を反映した検索を行うためには，

数式を対象とした類似検索方式の実現が重要であると考えられる。例えば、数式や公式を対象とした検索方式として、独自のインデックス付けを行った数学データベースに対してパターンマッチングによる検索を行う研究 [1] が実現されている。

これまで、ドキュメント中に含まれる数式の大半は CompuServe Graphics Interchange Format(gif) 形式などの画像に変換され、本文中に貼り付けられるのがほとんどであった [2]。画像データはデータ量が大きく、修正も負担が大きい。その上、画像データにすることにより数式の意味的な情報は失われ、メタデータの自動抽出など数式の内容に対応した自動的な処理が困難である。

一方、1998年4月に World Wide Web Consortium (W3C) の数式ワーキンググループにより、Extensible Markup Language(XML) の応用技術である Mathematical Markup Language(MathML) [3] Version 1.0 が公表され、web 上での数式の表示と内容の記述が可能になった。2001年2月には MathML Version 2.0 が公表され、各種 web ブラウザや数式処理ソフトも対応しつつある [4]。例えば、数式処理ソフトである Maple [5]、Mathematica [6] は、それぞれ独自の数式表記から MathML 表記に変換できる。また、TeX で書かれたドキュメントを MathML を含む文書に変換するソフトウェアも存在している [7]。これらから、数式を含む科学技術分野における文書について、特定分野を対象とした検索方式が実現されつつある。

我々の研究グループでは、これまで、MathML で記述された数式と言葉からなる問い合わせによる数式データを対象とした複合連想検索 [8], [9] を実現してきた。ここで、本稿では数式データを対象とした複合連想検索を「複合数式検索」と呼ぶ。この複合数式検索は、言葉と MathML で書かれた数式による検索を可能としている。

しかしながら、問い合わせとして MathML を直接キーボードから入力する作業は、ユーザにとって大きな負担であり、入力を行うために MathML の専門的な知識が必要である。また、検索結果として得られた数式を検索クエリーとして利用することや他の数式処理ソフトへの利用ができないという問題点があった。これらのことから、数式を含む情報検索において、ユーザが MathML の専門的な知識を持っていなくても利用できるような入力支援 GUI の実現が重要である。

本稿では、数式データの統合的な処理を行い複合数式検索を含む外部の数式処理システムとの通信を可能とする入力支援 GUI “MathGUIDe” の実現について示す。MathGUIDe は、各数式データを MathML に変換する plug-in を適用することにより、数式データを統合的に扱うことを可能とし、また得られた MathML を動的に複合数式検索に問い合わせることを可能としたシステムである。

これにより、ユーザに MathML の専門的な知識が無くして Web 上の数式データやテンプレートからの選択により数式を入力することが可能となり、複合数式検索の結果を得ることが可能である。

表 1 数式データ。

ID	数式	言葉
$id_1$	$f_1$	$w_1$
$id_2$	$f_2$	$w_2$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$id_n$	$f_n$	$w_n$

表 2 類似数式検索における数式データ。

ID	数式
$id_1$	$f_1$
$id_2$	$f_2$
$\vdots$	$\vdots$
$id_n$	$f_n$

表 3 意味的連想検索における数式データ。

ID	言葉
$id_1$	$w_1$
$id_2$	$w_2$
$\vdots$	$\vdots$
$id_n$	$w_n$

## 2. 複合数式検索

これまで我々は、MathML を用いた類似数式検索方式 [10] を実現してきた。これは、MathML で書かれた数式を検索対象とし、タグの構成が類似している数式を検索することを可能とする。また我々は、特定分野のメディアデータを対象とした、メディアデータ連想検索のための索引を用いた検索空間方式 [11] ~ [13] を実現してきた。本方式によって、数学分野、もしくは数式を用いる科学技術分野の意味的連想検索を実現することが可能となった。さらに我々は上記に示した、MathML を用いた関数や演算子、数学記号の出現などの数式の構成による類似数式検索機構と数式を表す言葉による意味的連想検索機構を統合した複合数式検索方式 [8], [9] を実現している。これは数式をメディアとして着目し、数式による問い合わせと言葉による問い合わせの異種の問い合わせに対して、各計量系で計量し、それぞれの結果を統合することによって実現される。これにより、検索対象の絞込みが可能となり、よりユーザの求める検索結果を得ることが可能となる。本節では複合数式検索方式 [8], [9] の概要を述べる。

### 2.1 数式データ

数式データは、ID と数式と言葉がセットになったデータとする。表 1 の横一行が数式データを表している。“ $id_i$ ”、“ $f_i$ ”、“ $w_i$ ” はそれぞれ、数式データの ID、1 つの数式、1 つ以上の言葉のデータとする。また、類似数式検索と意味的連想検索それぞれにおける数式データは、表 2, 3 のようになっている。

### 2.2 実行手順

複合数式検索方式の全体概要図を図 1 に示す。本方式は次の

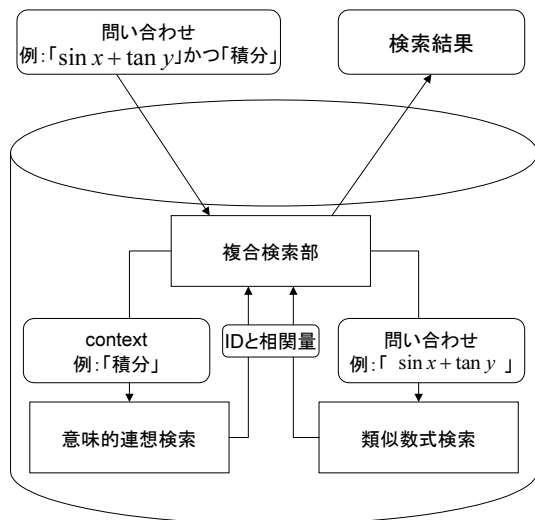


図 1 複合数式検索方式の全体図

手順で実行される。

(1) 問い合わせ発行

ユーザに検索のための問い合わせを入力してもらう。本方式では、ユーザからの問い合わせは、数式と言葉(数学用語)から与えられることを想定している。

(2) 問い合わせの振り分け

ユーザからの問い合わせを数式は類似数式検索機構に、言葉は意味的連想検索機構に振り分ける。ここで、意味的連想検索における問い合わせは、1つ以上の言葉により構成される文脈としている。そのためこの問い合わせを context と呼ぶ。

(3) 各検索機構による結果の統合

各検索機構の結果を基本統合演算子によって統合し、問い合わせに対する検索結果としてユーザに返す。

### 2.3 基本統合演算子

基本統合演算子「AND」、「OR」について以下に述べる。本システムで対象としている検索機構は、問い合わせに対して、検索対象データの相関量を返すものを想定している。ユーザに出力の際に、この相関量でソートすることにより、問い合わせに近いものから順に出力することができる。ここでは、独立に実装されている検索機構 A と検索機構 B の検索結果の統合を考える。

検索機構 A で検索した結果を  $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ 、検索機構 B で検索した結果を  $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$  とおく。なお、 $a_i$  は検索機構 A で検索したそれぞれの検索対象データの相関量の値、 $b_i$  は検索機構 B で検索したそれぞれの検索対象データの相関量の値、 $n$  は検索対象データの数である。ただし、 $0 \leq a_i \leq 1$ 、 $0 \leq b_i \leq 1$  とする。

このとき、「AND」統合演算子  $\otimes$  を以下のように定義する。

$$A \otimes_{i=1}^n B = (\sqrt{a_1 b_1}, \sqrt{a_2 b_2}, \dots, \sqrt{a_n b_n}) \quad (1)$$

また、「OR」統合演算子  $\oplus$  を以下のように定義する。

$$A \oplus_{i=1}^n B = \left( \frac{a_1 + b_1}{2}, \frac{a_2 + b_2}{2}, \dots, \frac{a_n + b_n}{2} \right) \quad (2)$$

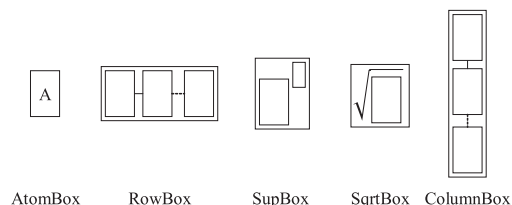


図 2 Box の例

### 3. 数理ソフトウェアのための入力支援システム生成系”exGUIde”

近年、様々な分野で MATLAB や L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X などの数理ソフトウェアの利用が広がっている。一般にこれらの数理ソフトウェアでは、ソースコードと呼ばれるテキスト形式のデータを用いて命令を記述する。これは、数式の構造が複雑になるほどデータの構造も煩雑になり、記述するのが困難になってしまうという問題点があった。

そこで現在、MathType や InftyEditor のような、GUI を用いた数式入力支援システムが登場している。これらのシステムを用いると、二次元的な表記を持った数式を入力するだけで数理ソフトウェアのソースコードを得ることができる。

これまで、これらの入力支援システムは個々の数理ソフトウェアに特化した形で実現されていた。すなわち、入力支援システムを開発する際には、ある数理ソフトウェア固有の仕様を調べ、その数理ソフトウェアに対応した入力支援システムを構築していた。このような実現方法では、数理ソフトウェアの仕様に変更が生じた場合、入力支援システムを始めから開発し直さなければならない。これは開発者にとって大きな負担となる作業であった。

我々は、対象とする数理ソフトウェアの仕様(構造文法)を与えることで、その数理ソフトウェア向けの入力支援システムを自動的に生成する生成系(Generator)として、数理ソフトウェアのための入力支援システム生成系“exGUIde”を開発している。exGUIde では、構造文法を与えるだけで、ある数理ソフトウェア用の入力支援システムを構築できる。そのため、GUI の部分を開発する必要がなくなり、これまでよりも簡単に入力支援システムを構築することができるようになる。また、数理ソフトウェアの仕様に変更が生じた場合も、構造文法を変更するだけで新しい入力支援システムを生成できるため、入力支援システムの開発を効率的に行うことができる。

#### 3.1 Box 型構造文法 BSG

exGUIde では、構造文法として Box 型構造文法 (BSG: Box-type Structure Grammar) を用いる。BSG は構造規則と変換規則から構成される。以下ではそれぞれの要素について示す。

##### 3.1.1 構造規則

構造規則中には、Box [14] と呼ばれるデータ構造を用いて二次元的な表記を持った数理ソフトウェアの仕様を記述する。図 2 に構造規則に定義できる Box の例を示す。これらの Box を入れ子構造にすることで、複雑な数式構造も表現することがで

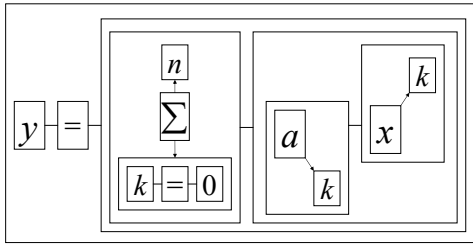


図 3 複雑な Box 構造の例

表 4  $A^T$  の Box 構造

```

<SupBox content="transpose">
  <AtomBox char="A">
    <AtomBox char="T">
</SupBox>

```

きる。例として数式  $y = \sum_{k=0}^n a_k x^k$  を Box 構造を用いて表したものを図 3 に示す。構造規則中では、これらの Box を XML 形式で記述する。数式  $A^T$  を Box で表したものを表 4 に示す。ここで、XML では属性を用いて Box 構造の意味を記述することができる。表 4 では content="transpose" の部分がこの Box 構造の意味を示している。 $A^T$  という構造だけではこれが何を意味するのかを判断することはできないが、属性によってこの構造は A の転置行列を意味するということが明示できる。このように、属性を用いることで、数式の意味に関する情報を記述する必要がある MATLAB などのソースコードも生成することができる。

### 3.1.2 変換規則

変換規則は入力された Box データを解析し、対象とする数理ソフトウェアのソースコードに変換するための規則を記述する。BSG において変換規則は、XML 形式のデータを処理できる形式で記述される。

### 3.2 exGUIDe の概要

図 4 に exGUIDe の概要を示す。exGUIDe では、まず、対象とする数理ソフトウェアの BSG 中の構造規則をテンプレートに適用する。こうすることで、構造規則で定義された Box をテンプレートとして入力できるようになる。ユーザはこの Box テンプレートを利用して Box を入力する。入力が終わったら、入力した Box データに対して変換規則に記述された変換規則

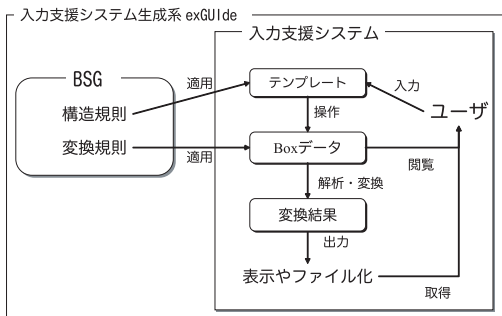


図 4 exGUIDe の概要

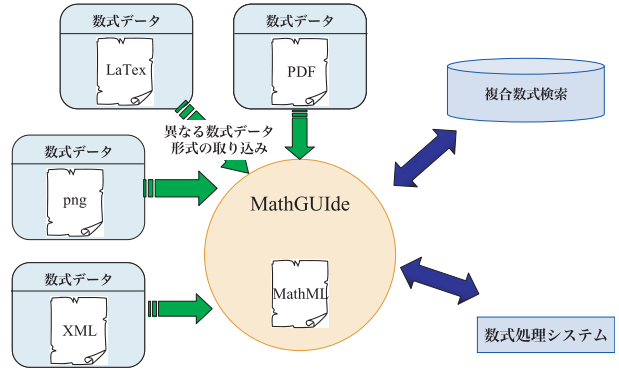


図 5 MathGUIDe の概要

を適用する。これにより、Box データは対象とする数理ソフトウェアのソースコードに変換される。そして、変換されたソースコードを exGUIDe が出力し、ユーザは目的とする数理ソフトウェアのソースコードを得ることができる。

## 4. 複合数式検索を対象とした入力支援 GUI "MathGUIDe"

図 5 に "MathGUIDe" の概要を示す。Web、又はローカル上にある数式データは、閲覧のみの目的など用途が限定的であることが多い。そのため、それら数式データを検索クエリーとして利用することは不可能であった。そこで、MathGUIDe では数式のメタデータとして MathML を使用し、MathML 形式でない数式データを MathML に変換する plug-in を MathGUIDe に適用することで、MathML 形式でない数式データを検索クエリーとしての利用が可能となる。また、ユーザ自らが行う数式入力は、XML 形式の数式の 2 次元的構造を記述した構造規則と構造規則を MathML に変換する変換規則からなる MathML 用構造文法を定義した、exGUIDe を用いて行う。これにより、ユーザの作る任意の数式は検索クエリーとして利用が可能となる。また、exGUIDe に以下の機能を実装した。

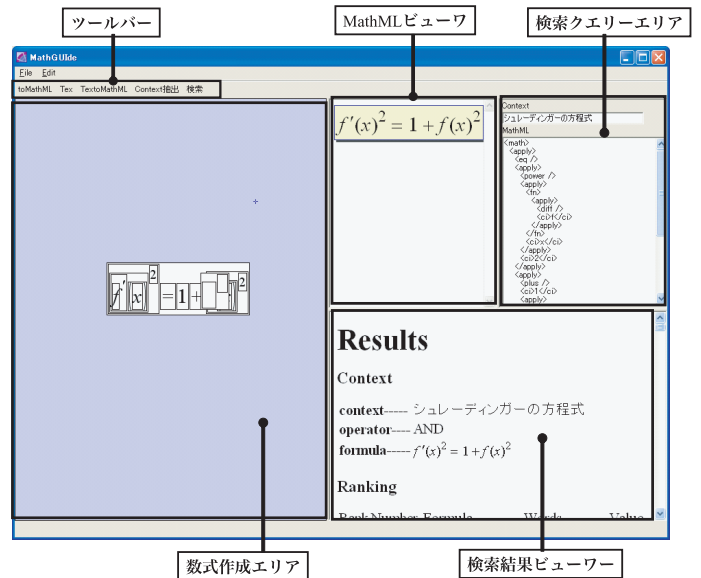


図 6 コンポーネントの説明

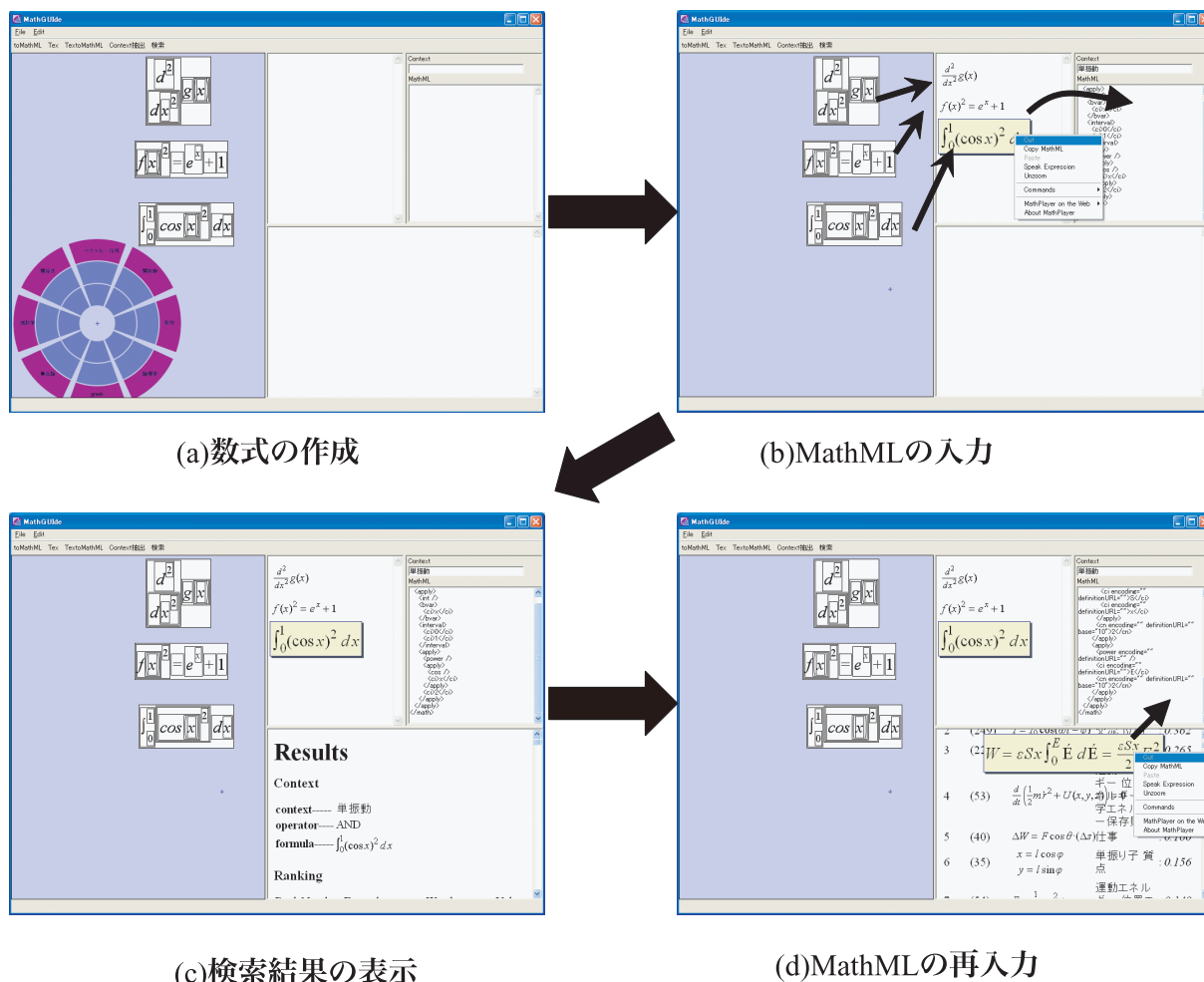


図 7 検索を行う流れ

(1) context の自動抽出

複合数式検索で使用する数式のメタデータである MathML は、数式の意味を記述できる。そこで、この MathML の解析を行い数式の意味を表す言葉を抽出すれば数式の context として扱うことが可能となる。

(2) 検索機能の追加

検索クエリーエリアの MathML と context を複合数式検索に問い合わせた結果を検索結果ビューワに表示する。

(3) 中置記法による数式入力

キーボードによる数式記述を可能とする自然な数式入力の実現する。

4.1 概観図

MathGUIde の概観図を図 6 に示す。MathGUIde は、数式を 2 次元形式表現で作成する「数式作成エリア」、数式作成エリアで作成した数式の MathML がレンダリングされる「MathML ビューワ」、context と MathML を入力する「検索クエリーエリア」、複合数式検索の結果が表示される「検索結果ビューワ」から構成されている。

5. 使用例

本システムのユーザビリティを検証するために、本章までに述べたシステムを構築し使用方法を図 7 に示す。

● 操作 (1) 数式の作成 (図 7a)

Rings Menu を構成する一片が数式の 2 次元形式表現となっている。Rings Menu 内でマウスを動かすことによって、現在選択している数式が Rings Menu の右上に表示される。

● 操作 (2) MathML の入力 (図 7b)

操作 (1) で作成した数式をツールバーの MathML 変換ボタンにより MathML ビューワで表示させる。MathML ビューワにある数式から検索する数式を検索クエリーエリアにコピー & ペーストする。

● 操作 (3) 検索 (図 7c) と MathML の再入力 (図 7d)

ツールバーにある検索ボタンにより検索クエリーエリアの context と MathML が複合数式検索の問い合わせを行う。その検索結果の数式の MathML を検索クエリーとして利用することができる。

6. おわりに

本稿では、数式データを対象とした入力支援 GUI “MathGUIde” を実現し、その使用例を示した。本方式の実現により MathML の知識を必要とせず、ユーザ自身がテンプレートから作成した数式による複合数式検索が可能となった。また今後の課題としては、各数式データから MathML に変換する plug-in の作成と MathGUIde への適用、数式処理システムとの通信を

行う。これにより，MathML 形式でない Web，ローカル上の数式データが検索クエリーとして利用が可能となる。そして，それらを検索クエリーとした複合数式検索により得られた数式を動的に数式処理システムへ問い合わせることが可能となる。

#### 文 献

- [1] 三枝義典，阿部昭博，佐々木建昭，増永良文，佐々木睦子 “数式処理システム GAL における数学公式データベースのインデキシング手法，” 電子情報通信学会論文誌，(D-I)，vol.J74-D-I，pp.577-585，Aug 1991。
- [2] K.R. Foster, “Math on the Internet,” IEEE Spectr., vol.36, no.4, April 1999.
- [3] “W3C Math Home,” W3C.  
<http://www.w3.org/Math/>
- [4] “MathML Software,” W3C.  
<http://www.w3.org/Math/implementations.html>
- [5] “Maple ホームページ”  
<http://www.cybernet.co.jp/maple/>
- [6] “日本電子計算 Mathematica”  
<http://www.jip.co.jp/si/soft/mathematica/>
- [7] “TtM, a TeX to MathML translator,” Ian Hutchinson.  
<http://hutchinson.belmont.ma.us/tth/mml/>
- [8] S.Kishimoto, T.Nakanishi, M.Murakata, T.Otsuka, T.Sakurai, T.Kitagawa: “An Implementation Method of An Integrated Associative Search for Mathematical Expressions,” The IASTED International Conference on Databases and Applications (DBA 2006), Innsbruck, Austria, February 2006 (accepted).
- [9] 中西 崇文, 岸本 貞弥, 村方 衛, 大塚 透, 櫻井 鉄也, 北川 高嗣: “数式データを対象とした複合連想検索システムの実現,” 日本データベース学会 Letters(DBSJ Letters), Vol.4, No.1, pp.29-32, 2005.
- [10] 岸本貞弥, 中西崇文, 櫻井鉄也, 北川高嗣, 栃木敏子, “MathML を用いた類似数式検索方式の実現,” 第 14 回データ工学ワークショップ (DEWS2003) 論文集, no.6-P-07, Mar 2003
- [11] 中西 崇文, 岸本 貞弥, 櫻井 鉄也, 北川 高嗣: “特定分野を対象とした連想検索のための書籍の索引部を用いたメタデータ空間生成方式,” 電子情報通信学会論文,VOL.J88-D1 No.4 , pp840-851, 2005.
- [12] 中西 崇文, 岸本 貞弥, 櫻井 鉄也, 北川 高嗣: “複数の書籍の索引部を用いたメタデータ空間拡張統合方式,” 日本データベース学会 Letters(DBSJ Letters), Vol.3, No.1, pp141-144, 2004.
- [13] T.Nakanishi, S.Kishimoto, T.Sakurai, T.Kitagawa: “A Construction Method of a Metadata Space Based on Relations Between Words from an Index of a Book,” IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM '05), pp.438-441, Victoria, August, 2005.
- [14] 櫻井鉄也, 趙燕結, 杉浦洋, 鳥居達生, 自然な数式表記のためのユーザインタフェース, 日本応用数学会論文誌, Vol.6, No.1, pp.147-157, 1996.
- [15] Don Hopkins, The Design and Implementation of Pie Menus ,Dr.Dobb's Journal ,Vol.16 ,No.12 ,pp.16-26 ,1991.