

令和 元年 6 月 11 日現在

機関番号：32675

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2016～2018

課題番号：15KK0017

研究課題名（和文）相互運用可能な双方向グラフ変換に関する研究（国際共同研究強化）

研究課題名（英文）A Study on interoperable bidirectional graph transformations(Fostering Joint International Research)

研究代表者

日高 宗一郎 (HIDAKA, Soichiro)

法政大学・情報科学部・教授

研究者番号：70321578

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

渡航期間： 6ヶ月

研究成果の概要（和文）：双方向変換は、モデル駆動開発に於いて下流での修正の上流への伝播を実現する枠組として期待されている。本研究は、単方向変換言語から双方向変換言語への部分翻訳に基づく部分双方向変換手法について、単方向変換言語処理系と双方向変換言語処理系の統合実行による統合処理系が全体としてラウンドトリップ性を示すための十分条件を証明し、実装を公開した。更に、上述の十分条件のうちのひとつである単方向変換言語の加法性について、query containmentと変換の間の包含関係との間の関係、包含関係がなす束、単調性と文脈を用いた加法性抽出法などをまとめた研究論文を国際会議で発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ソフトウェアは常に更新される宿命を負っており、ソフトウェア構築法の頑健化のためには更新の管理は喫近の課題である。双方向変換はよく研究されているが、双方向変換用の言語の直接記述は未だハードルが高い。本研究により単方向変換が透過的に双方向化されることは、単方向変換ユーザの双方向変換へのスムーズな移行を可能にする。また本研究はモデル変換で広く用いられているルールベースの言語ATLを関数型のグラフ双方向変換言語にすることによりATLを部分的に双方向化するものであり、モデル変換分野における双方向変換の形式化や、ATLに新たに関数型の意味を与えることにもつながった。

研究成果の概要（英文）：Bidirectional transformations are expected to play an important role in propagating changes upwards in model driven software development.

In this project, we have proved the sufficient condition for the integrated execution of unidirectional transformation and bidirectional transformation has a round-trip property when the unidirectional transformation languages are partially bidirectionalized by partially translating unidirectional transformation languages to bidirectional transformation languages.

With respect to the additivity of the unidirectional transformation language which is one of the above sufficient conditions, we have presented in an international conference the relationship between the notion of query containment and the containment relation between transformations, a lattice formed by the containment, how to extract the additivity through monotonicity and contexts.

研究分野：プログラミング言語

キーワード：双方向変換 相互運用性 グラフ変換 モデル変換 プログラミング言語 プログラム変換 加法性  
漸進的双方向化

1. 研究開始当初の背景

データの相互変換は情報システムにおける重要な操作であるが、双方向変換(引用文献[1])は、その変換をこえて双方向に更新を伝播させることができるため、設計から実装までの工程をモデル変換で実現するモデル駆動開発に於いて、下流での修正の上流への伝播(=再実装への不具合波及抑止)を実現する枠組として期待されている(図1)。

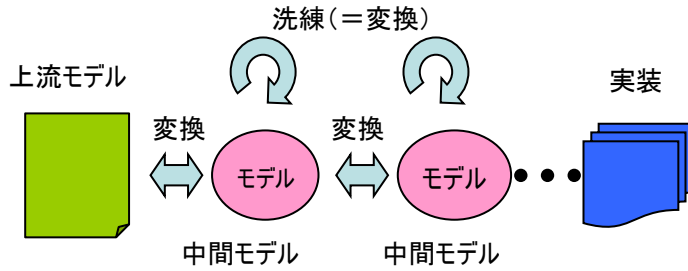


図1 双方向モデル変換によるソフトウェア開発

申請者は、関数プログラミングに関する国際会議(引用文献[3])で発表した双方向グラフ変換言語をモデル(=グラフ)駆動開発に応用してきた過程で、モデル要素間の参照の間の順序が扱えない等実用上の本質的問題に直面していた。基盤研究Cで遂行していた『相互運用可能な双方向グラフ変換に関する研究』(以下基課題)はこれらの問題を相互運用性の切口で捉え、扱うグラフの表現力の向上、変換の性能や能力の向上等を通して、既存の双方向変換を含む、より明快で強力な枠組を提案するものであった。

2. 研究の目的

本研究は、基課題の複数のサブテーマ中「双方向変換システムの他のシステムと対等で相補的な統合」の強化により、実用的な双方向変換方式を開拓する。

具体的には、図2のような統合を行なう。すなわち、モデル変換言語のデファクトスタンダードであるATL等の単方向変換系(図中央上)を、申請者等が開発している双方向グラフ変換システムGRoundTram(図中央下)などの双方向変換系と部分翻訳を介して統合することにより双方向化する。

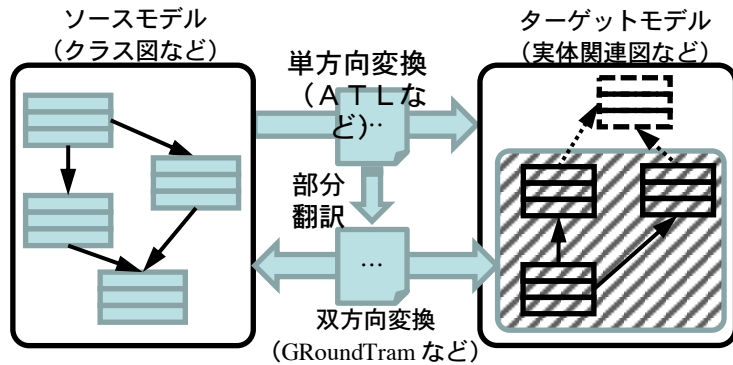


図2 部分翻訳による双方向変換システムと単方向変換システムの相補的統合

ATLの双方向化の既存のアプローチ(引用文献[2])ではエンジンを改変する必要があるなどの問題点があったため、我々は以前類似の手法として、ATLの語彙の一部のみで記述された限定的なモデル変換を全翻訳することによりATLを双方向化する枠組を提案した(引用文献[4])が、記述可能なモデル変換が大幅に制限されてしまう問題点があった。申請者はこれを克服すべく、基課題研究でATLの語彙の制限を撤廃する一方、一部のみ双方向変換言語に翻訳することで、順変換は双方向化のための制約を受けないかわりにターゲットモデルの一部の更新を制限する手法をATL開発チームの研究者と共同で考案した(引用文献[5])。この手法の特徴は、順変換ではATLとGRoundTramが並行して実行され、GRoundTramが生成するターゲットモデルは常にATLが生成したターゲットモデルの一部(図中ターゲットモデルのうち内側の斜線で囲まれた部分)に重なることである。

双方向変換の観点からは、この重畳部分の変更がGRoundTramの逆変換によりソースモデルに伝搬される。この相互運用により、ATLにない双方向性と、双方向変換系に足りない表現力が互いに補われる。ユーザの視点では使い慣れたATLのフルセットで従来通りモデル変換を記述し、これまで更新不可能であったターゲットモデルの一部が更新可能になる。本来、全ての言語要素を翻訳することは、双方向変換言語の持つ表現力の制限から困難であるため、部分翻訳によりターゲットモデルの一部のみ更新を許すことは極めて現実的である。

このように、部分翻訳アプローチは有望であるが、現実のモデル変換例で利用可能にするためには、ATL、GRoundTramの両処理系が密に統合され、上記重畳部分から(1)ユーザの編集が適切に抽出され双方向変換系に引き渡されなければならない。また、いかなる変換についても(2)重畳部分が正確に重なるよう保証しなければならない。またそもそも、(3)部分翻訳の正しさが保証されなければならない。

形式化や正しさの証明自体についても研究代表者のプログラミング言語を軸足としたグラフ変換やプログラム変換の経験(引用文献[6][3][7])に基づく遂行だけでは不十分であり、翻訳の厳密

な定義には統合する相手であるATLの表面化し難い部分も含めた仕様に対する深い洞察が不可欠である。これらの課題へ取り組むためには、ATL開発拠点で専門家と密に協力し、実装を含めて集中的に取り組むことが効果的である。

### 3. 研究の方法

上記設計(引用文献[4])を、前述の拠点に渡航しモデルとグラフの相互変換も含めて上記(1)~(3)の課題に取り組むことにより強化したのち実装し、クラス図から関係スキーマへの変換などの既存の典型的なモデル変換の双方向化について有効性を評価する。また、本研究は、一定の条件を満たす部分翻訳の可能な単方向、双方向変換の任意の組合せに適用可能であるが、翻訳の正しさは具体的な組合せ毎に考慮する必要がある。ここではATLとGRoundTramの組合せで有効性を示す。

この証明に際し両言語の橋渡しとなる意味論を既知のものから選ぶかは研究協力者としての共同研究者との議論により定める。我々の知る限り、部分翻訳に基づく二つのプログラムの同時実行による結果の重ね合わせに関する研究は見つかっていないが、関連する周辺領域の研究成果についてこれまでの関数プログラミングに近い形式的アプローチの中から対応するものを調査する。

### 4. 研究成果

2016年度は、先に提案した、単方向変換言語から双方向変換言語への部分翻訳に基づく部分双方向変換手法(引用文献[5])について、単方向変換言語処理系と双方向変換言語処理系の統合実行による統合処理系が全体としてラウンドトリップ性を示すための一般的な十分条件は(1)単方向変換言語が加法性(任意の入力について変換プログラムに新たなプログラム片を加えたら、変換結果が大きくなるかもしくは変化しない)を持つ、(2)双方向変換言語がラウンドトリップ性を持つ、(3)両処理系のデータモデル間の双方向変換がある、(4)単方向言語から双方向言語への翻訳が健全であることを証明し、単方向モデル変換言語ATLから双方向(化された)グラフ変換言語UnQLへの部分翻訳もその具体例となることを示し、国際雑誌に投稿した。

また、広く利用されている開発環境であるEclipseのプラグインとして統合実行システムを実装したものを公開し(ホームページ等[1])、自明でないモデル変換(クラス図から関係スキーマへの変換)について、ラウンドトリップの具体例と保証されるラウンドトリップ性のシナリオを示した。更に、従来発見的手法に頼っていた上記部分翻訳について、統合対象言語の抽象構文や意味に内在する代数的性質に基づき翻訳を導出する手法の検討により、翻訳システムを系統的に構築する道筋を示した(学会発表[2])。

2017年度は、先に提案した、単方向変換言語から双方向変換言語への部分翻訳に基づく部分双方向変換手法(引用文献[5])が正しく機能するための四つの条件のうちの「単方向変換言語が加法性を持つ」について、変換言語の加法性そのものに焦点を当て、データベース分野で知られているquery containment(任意のデータベースについて、ある問い合わせQ1の出力結果が常に別の問い合わせの結果Q2に含まれるとき、Q1はQ2に含まれる)と加法性の議論に必要な変換の間の包含関係との間の関係、包含関係がなす束(変換プログラムの大小関係を、プログラム片の構文的な追加・除去で構成する)、具体的な変換言語から加法性を形式的に抽出するための、変換言語の単調性と文脈(context hole)を用いた方法、加法性の応用などをまとめた論文をモデル駆動工学における言語とシステムに関する国際会議(CORE rank A)で研究論文として発表した(雑誌論文等[1])。query containmentによる大小関係が、加法性における変換の大小関係に対応するが、本研究ではこの大小関係を構文的操作により定義する。この構文的操作は変換の一部を除去することに対応し、そのような操作ができる箇所を、文脈に対する型システムで定義している。直列合成可能な変換に関しては、後続の変換が単調である必要があり、グラフ変換言語UnCALについて、単調性を型システムで定義している。加法性はATLやUnCALだけでなく、テンプレートベースの変換言語やVTGG(View Triple Graph Grammars)など、多くの変換言語のサブセットに備わっていることが予想され、本加速研究での直接的な応用である部分双方向化のみならず、モジュール化、変換の変更によるインパクトの分析、変換の漸進的開発などへの応用が期待される。

2018年度は、上記国際雑誌の査読結果に基づき論文の改訂を進めた。特に、枝ラベルグラフとEMFモデルとの技術空間間変換の条件の明確化、dangling参照を考慮したモデル間の包含関係の明確化について検討した。更に、本研究の成果を踏まえ、本研究で注力した部分双方向化から、それを一般化した漸進的双方向化について検討した。

<引用文献>

- [1]. K. Czarnecki, J. N. Foster, Z. Hu, R. Lämmel, A. Schüurr, and J. F. Terwilliger. Bidirectional transformations: A cross-discipline perspective. In International Conference on Model Transformation (ICMT 2009), pages 260-283. LNCS 5563, Springer, 2009.

- [2]. Y. Xiong, D. Liu, Z. Hu, H. Zhao, M. Takeichi, and H. Mei. Towards automatic model synchronization from model transformations. In 22nd IEEE/ACM International Conference on Automated Software Engineering (ASE 2007), pages 164-173. ACM Press, Nov. 2007.
- [3]. Bidirectionalizing graph transformations, S. Hidaka, Z. Hu, K. Inaba, H. Kato, K. Matsuda, K. Nakano, in Proc. 15th Int'l Conference on Functional Programming (ICFP 2010), pp.205-216 (2010).
- [4]. Toward bidirectionalization of ATL with GRoundTram, I. Sasano, Z. Hu, S. Hidaka, K. Inaba, H. Kato, K. Nakano, Proc. 4th International Conference on Model Transformation (ICMT 2011), Lecture Notes in Computer Science 6707, pp.138-151 (2011).
- [5]. ATLGT: bidirectional ATL on top of GRoundTram, S. Hidaka, M. Tisi, Technical report, <https://github.com/atlanmod/ATLGT> (2015).
- [6]. Structural Recursion for Querying Ordered Graphs, S. Hidaka, K. Asada, Z. Hu, H. Kato, K. Nakano, Proceedings of the 18th ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming (ICFP 2013), Boston, USA, pp.305-318 (2013).
- [7]. Marker-directed optimization of UnCAL graph transformations, S. Hidaka, Z. Hu, K. Inaba, H. Kato, K. Matsuda, K. Nakano and I. Sasano, Logic-Based Program Synthesis and Transformation, 21st International Symposium (LOPSTR 2011), Odense, Denmark, Revised Selected Papers, Lecture Notes in Computer Science 7225, pp.123-138 (2012).

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- [1]. Hidaka Soichiro, Jouault Frédéric, Tisi Massimo, On Additivity in Transformation Languages, 2017 ACM/IEEE 20th International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems, pp. 23-33, 査読付き、2017年 (国際共著)  
DOI: <https://doi.org/10.1109/MODELS.2017.21>

[学会発表] (計 6 件)

- [1]. Soichiro Hidaka, Towards reduction of source access in incremental updates of relational views, First Workshop on Software Foundations for Data Interoperability (国際学会), 2018年
- [2]. 日高 宗一郎, Massimo Tisi, On the Construction of Translation in Partial Bidirectionalization, 情報処理学会第 116 回プログラミング研究発表会, 2017年
- [3]. 日高 宗一郎, Massimo Tisi, Bidirectionalizing Model Transformation Languages through Partial Translation 日本ソフトウェア科学会第 33 回大会 2016年 09月 09日 東北大学片平キャンパス電気通信研究所 (宮城県仙台市)

[その他]

ホームページ等

- [1]. <https://github.com/atlanmod/ATLGT>  
Bidirectional version of ATL on top of the GRoundTram transformation engine

## 6. 研究組織

研究協力者

[主たる渡航先の主たる海外共同研究者]

研究協力者氏名：マシモ・ティージ

ローマ字氏名：Massimo Tisi

所属研究機関名：鉱業・情報通信研究機構アトランティック

部局名：DAPI

職名：Assistant Professor

[その他の研究協力者]

研究協力者氏名：フレデリック・ジョールト

ローマ字氏名：Frédéric Jouault

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。