

[物理]

4 力学問題の自動解答への取り組み



岩根秀直 (富士通研究所) 横野 光 (富士通研究所)
 岩ヶ谷崇 (サイバネットシステム) 五十嵐健夫 (東京大学)

物理では、力学問題に注力して自動解答のためのソルバーの作成に取り組んでいる。問題は問題文と画像で書かれており、解答に必要な情報を抽出しなければならない。必要な情報は物体やその属性などであり、それらを述語論理形式で表したものを問題の形式表現と呼ぶ¹⁾。東ロボ物理ソルバーは最初に問題文を形式表現に変換し、シミュレータなどを利用して問題を解くことを想定している。図-1のシステムの構成のうち、四角で囲んだ範囲が自動化できている範囲である。

言語理解は述語項構造を元に語彙の知識を用いて行うが、使われる語彙が多いため、その対応が課題の1つである。また、問題には解答に必要な情報だけでなく、状況の説明の前提となる記述などが含まれていることがある。これは解答には関係ない情報であることが多く、解析では何がいらぬ情報を判断する必要がある。さらに、画像の解釈がなければ解けない問題も多い。現状の言語理解部の性能は高くなく、ここで誤ると後段の処理で正しい結果が得られない。そのため、物理においては人手による画像理解も加えた形式表現および構造化図を入力とした。また、シミュレーション結果の解釈などで人の介入を許した条件で評価を行った。結果は、2015年度より自動化の範囲を広げた課題設定で偏差値 59.0 (62 点) を獲得し、2015年度の偏差値 46.5 (42 点) に対して大幅な向上を達成した。しかし、自動化が進んでいない部分が残っていることや、力学以外の問題に取り組めていないなど多くの課題が残っている。本稿では、シミュレーションを利用した自動解答、および静的つりあいの問題に対する自動解答について紹介する。

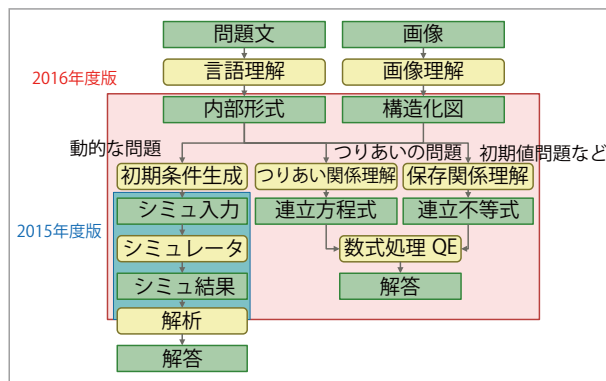


図-1 東ロボ物理ソルバーの構成

シミュレーションによる自動解答

シミュレーションにより問題を解く場合、小物体やバネを床や斜面上に配置するなど問題に書かれた状況をシミュレーションモデルに構築する必要がある。しかし、問題には、小物体が3次元空間上のどこに配置されるかなどの座標情報はない。また、「質量は m 」など変数を使用する問題では、シミュレーション時には適切な数値を与える必要がある。これらに対応するためには、形式表現上の各時刻や時刻間での関係をすべて求めた後、解答に不要な変数の消去が必要となる。これを、限量子消去 (QE) ツール SyNRAC^{☆1} を拡張して、実現した²⁾。ここでの関係式の構築を完全に行えば、ほぼすべての力学問題をシミュレーションなしで解くことが可能だが、非常に多くの作業が必要である。しかし、シミュレーション利用の想定により基本的な状況に対する関係式の構築だけで良い。

さらに、形式表現からシミュレーションの入力表現である Modelica への変換規則を簡潔に開発する

☆1 <http://www.fujitsu.com/jp/group/labs/resources/tech/announced-tools/synrac/>

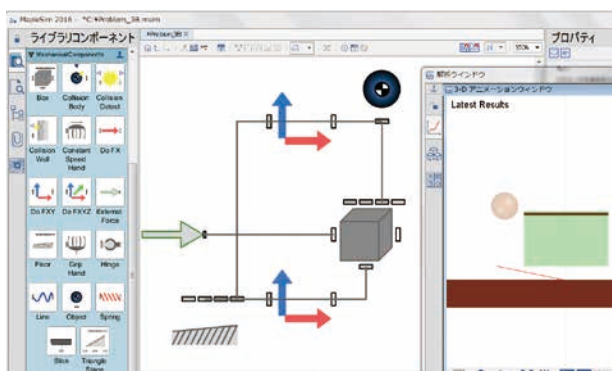


図-2 シミュレーションの実行の様子

ため、中間言語として Maple^{☆2} とその上に関数群を導入し、シミュレーションするためのモデル自動生成を実現した。

上記フローによって生成されたモデルを意味する Modelica は、本取り組みのために開発した要素ライブラリを参照するものであり、これに対して、上記の初期条件と形式表現から得られたパラメータ値を設定することで、図-2 のようにシミュレータである MapleSim^{☆3} 上での計算実行が可能となった。

図形を含む静的つり合い問題

図形を対象とした自動解答の例として、静的つり合い問題を対象としたソルバー³⁾を紹介する。今回の取り組みでは、文字認識や文章理解・図形認識などは実装の対象外とした。よって、ソルバーへの入力として、文章から得られる情報を形式表現で表したものと、図で得られる情報を図形エディタ上で表現したものを手作業で作成して用いた(図-3)。ソルバーでは、まず形式表現中の要素と図形中の要素の対応関係を求め、さらに、図形要素の位置関係から要素間の関係を求めた。それらの結果をもとに、

☆2 <http://www.cybernet.co.jp/maple/product/maple/>

☆3 <http://www.cybernet.co.jp/maple/product/maplesim/>

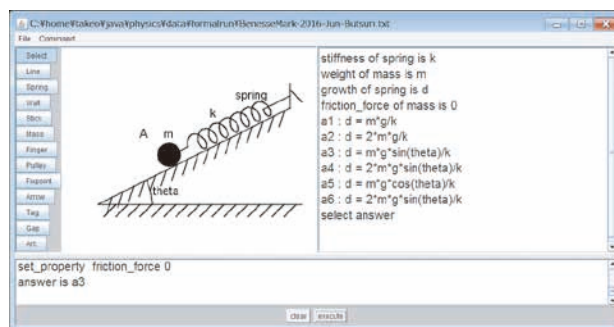


図-3 静的つり合いソルバー実行の様子

あらかじめ定義されていた規則に従って、物理法則を表現した連立方程式を立て、それを数式処理ソルバーに渡して解答生成を行った。自然言語表現に含まれる曖昧性を解消するために、複数の解釈の可能性を考慮した上で、うまく答えが求められたものを選ぶといった処理を内部で行っている。

参考文献

- 1) 横野 光, 稲邑 哲也: シミュレーションによる物理問題解答のための問題分類, 人工知能学会全国大会論文集, 第 29 巻 (2015).
- 2) 岩根秀直, 横野 光, 岩ヶ谷 崇, 五十嵐 健夫: 言語処理で生成する形式表現とシミュレータの接合による大学入試物理の力学問題の自動解答, 人工知能学会全国大会論文集, 第 31 巻 (2017).
- 3) 五十嵐 健夫, 横野 光, 岩根秀直: 図形描画とテキスト入力を用いた力学に関する質問応答システム, ソフトウェア科学会 WISS (2016).

(2017 年 3 月 31 日受付)

■岩根秀直 iwane@jp.fujitsu.com

(株)富士通研究所所属. 博士 (数学).

■横野 光 (正会員) yokono.hikaru@jp.fujitsu.com

(株)富士通研究所所属. 博士 (工学).

■岩ヶ谷 崇 iwagaya@cybernet.co.jp

サイバネットシステム (株) 所属. Maple/MapleSim でのモデリングおよび解析に従事.

■五十嵐 健夫 (正会員) takeo@acm.org

東京大学大学院情報理工学系研究科所属. 博士 (工学). 専門はユーザインタフェース, グラフィクス.