

教材作成支援システム構築に向けた推論 AI による概念実証の取り組み

富士通エフ・アイ・ピー（株）

■ 執筆者 Profile ■



岡村 一弘

2005 年 富士通エフ・アイ・ピー（株）入社
2018 年 現在 第四サービスマネジメント部所属



権田 直年

1985 年 富士通エフ・アイ・ピー（株）入社
2018 年 現在 第四サービスマネジメント部
担当部長

■ 論文要旨 ■

教育現場では、生徒一人ひとり最適化された教材を選び出し、効率的に学習を進めていくことが求められている。本稿は推論 AI を活用し、これまでの蓄積された教材と制作ノウハウから目的にあった教材を作成することの実現性を考察した。

最初のステップとして、概念実証（PoC）により以下の観点で実現性を検証した。
①少量の設問データを用い、推論 AI エンジンの中核理論を実装し、「教材作成者の意図した設問情報を抽出できるか」の可否を評価する。②設問に属性（出題意図）を追加することで目的の達成精度を高めることができるかを検証する。

PoC による検証の結果、蓄積された設問情報に属性追加を行えば、推論 AI による教材作成支援は可能であると判断した。次のステップとして、不足している属性を導出するため、教材作成者からのヒアリングを通じて設問文書から出題意図の機械的導出・付与の実現性を実証し、機械的導出が可能な範囲を導き出した。

■ 論文目次 ■

<u>1. はじめに</u>	《 4》
1. 1 当社の概要	
1. 2 本プロジェクトの概要	
<u>2. お客様課題</u>	《 5》
2. 1 教材ビジネスの拡大	
2. 2 蓄積情報の活用	
2. 3 教材作成ノウハウの継承	
<u>3. 課題解決に向けた当社提案</u>	《 6》
3. 1 提案スコープ	
3. 2 スケジュール	
3. 3 実現方式	
<u>4. 概念実証 (PoC)</u>	《 9》
4. 1 目的	
4. 2 実証ポイント	
4. 3 実証シナリオ	
4. 4 処理フロー概要	
4. 5 実証結果	
4. 6 発生した課題と対策	
4. 7 概念実証の総合評価と考察	
<u>5. 設問属性検討</u>	《 15》
5. 1 設問属性について	
5. 2 設問属性検討のポイント	
5. 3 設問属性検討の総合評価と考察	
<u>6. 今後の取組み・展望</u>	《 19》
<u>7. おわりに</u>	《 19》

■ 図表一覧 ■

図 1	当社ビジネス体系	《 4》
図 2	提案スコープ	《 6》
図 3	スケジュール	《 6》
図 4	推論AIの機能コンポーネント図	《 7》
図 5	画面イメージ図	《 8》
図 6	模範抽出例	《10》
図 7	概念処理フロー	《10》
図 8	検証 1 で推論AIが導出した候補	《11》
図 9	検証 2 で推論AIが導出した候補	《12》
図10	「図」を含む設問	《13》
表 1	推論 AI の機能コンポーネント説明	《 7》
表 2	2 項関係	《 8》
表 3	属性化すべき観点	《 9》
表 4	科目別類題判定表	《16》
表 5	科目別排他関係導出手法	《17》
表 6	属性の機械的抽出の可能範囲	《19》

1. はじめに

1. 1 当社の概要

当社は、北海道から九州まで全国に展開している高水準の安全対策・セキュリティ対策を施した富士通のデータセンターを運用している。全国のデータセンターを基盤に「IT アウトソーシング&クラウド」、「システムインテグレーション」、「プロフェッショナル」、「SaaS」の四つのサービスを提供しており、システムの企画から設計、開発、運用、保守まで、ライフサイクル全般を支援し、安心・安全で、高品質かつ高コストパフォーマンスのサービスを提供している。

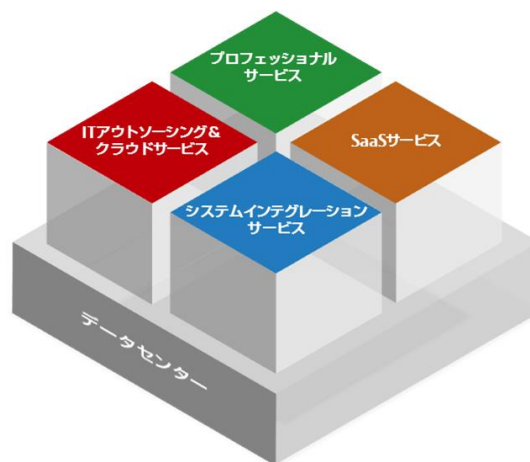


図 1 当社ビジネス体系

昨今、AI (Artificial Intelligence) や RPA (Robotic Process Automation) という言葉を、新聞、テレビ、雑誌など、至るところで見かけるようになってきている。当社においても AI 商談が活性化しており、AI ビジネス拡大に向けた人材強化を目的としたコミュニティ立ち上げ、業種別（公共、流通、文教、他）での概念実証（PoC）に取り組んでいる。また、RPA においても業務効率化、品質向上に向けて、提案、導入が加速している状況である。

1. 2 本プロジェクトの概要

本プロジェクトは、当社お客様である学校・塾を市場として学習教材（問題集、模擬テスト）を制作・販売している出版社様向けの教材作成を支援するシステム構築プロジェクトである。

学習教材は、文部科学省で制定した学習指導要領をもとに問題集の用途（全体補完、重点学習など）や模擬テストの目的（全国統一版、学力診断、地域性など）に応じて過去の問題集や学習教科書をもとに作成している。過去の問題集や模擬テストの設問情報は蓄積されているが利用する観点で教材作成者による判断が多く存在し、情報として有益に活用できていないのが現状である。

また、文部科学省で「新しい学習指導要領の考え方」が発表されており、2020 年度の小学校の学習指導要領改定を皮切りに、2021 年度に中学校、2022 年度に高等学校の学習指導要領改定が予定されている。

本プロジェクトは、上記を踏まえ、近未来に発生する学習指導要領改定への柔軟な対応及び人の判断、意思決定への支援を如何にシステム化できるかを目的としている。更には、お客様課題である「教材ビジネスの拡大」、「蓄積情報の活用」、「教材作成ノウハウの継承」に対して、本プロジェクトが有益な取組みとなるように推進している。

本稿では、教材作成における推論 AI を活用した支援作業での概念実証結果について論述する。

2. お客様課題

2. 1 教材ビジネスの拡大

先述した文部科学省の学習指導要領改定への対応や改定に伴う模擬テストの改変はお客様ビジネスでの対応は急務である。また、新たな付加価値を創出していくことが教材ビジネスの拡大に繋がると考える。本プロジェクトでの教材作成支援システムに加えて、模擬テストと教材作成支援の融合や新たな模擬テストへの迅速な対応などがビジネス拡大に向けた構想として考えられる。

(1) 模擬テストと教材作成支援の融合

模擬テスト結果で不正解だったカテゴリについて、教材作成支援システムから生徒一人ひとりの弱点問題を導出して提供する。

(2) 新たな模擬テスト

学習指導要領改定に伴い、学校・塾で新たな模擬テストが模索されると想定する。
学校・塾からの要望に対し、迅速な対応を行う。

今後の教材作成支援システムの将来構想については継続して検討する必要がある。

2. 2 蓄積情報の活用

過去十数年の問題集及び模擬テストの設問情報は、小問単位でデータベース化し蓄積されている。教材作成者は、データベース化されている設問情報を活用し、過去の設問情報を参考に新たな問題集や模擬テストを再構成して作成することができる。ただし、現状では、検索データベースとしての役割でしかなく、検索するキーワードを教材作成者が意識して導く必要がある。また、検索するキーワードは、学習指導要領のカテゴリであり、抽出された設問から教材作成者の意思に関連づけて選択する必要がある。

本データベースは、過去の実績から作成されているものであり、大変有益な情報である。本データベースの利用観点、管理項目の工夫、見直しにより、更なる活用が期待できる。また、今後の学習指導要領改定への対応や新たな模擬テスト作成など、本データベースを活用することで、対応へのスピードアップも見込まれる。如何に蓄積された情報を活用していくかが、教材作成における重要な課題である。

2. 3 教材作成ノウハウの継承

教材は、科目別（英語、数学、国語、理科、社会）の専門部署にて作成しており、科目に特化した教材作成者の経験、ノウハウが最重要となっている。ただし、そのノウハウは教材作成者への依存度が高く、また、教材作成自体の外注化も進んでいる。外注化が進むに伴い、教材作成者は作成された設問情報の確認作業が主作業となり、本来、教材作成で最も重要な設問意図がブラックボックス化していく危惧がある。今までの経験で培った教材作成ノウハウの継承がお客様社内における重要な課題となっている。

3. 課題解決に向けた当社提案

3. 1 提案スコープ

現在、保有している模擬テストや問題集の設問情報（以下、設問情報という）や成績情報を入力とし、推論 AI により、適切な設問を組み合わせた教材候補を教材作成者に提示するまでを本プロジェクトの提案スコープ（図 2）とする。

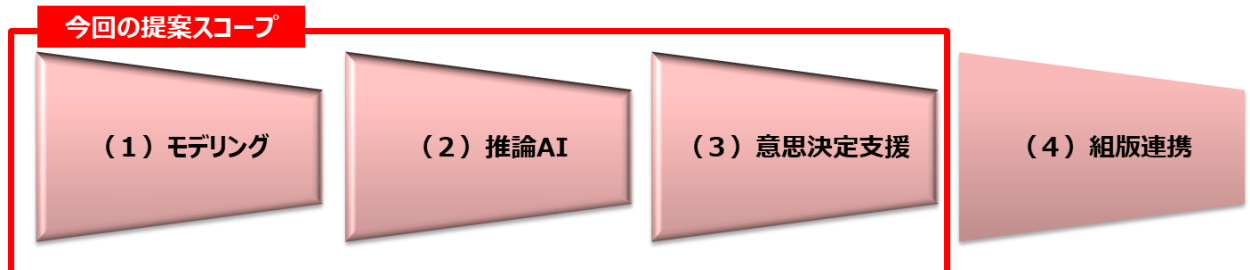


図 2 提案スコープ

(1) モデリング

お客様が保有している設問情報の属性や成績情報を整理し、推論 AI の入力となるように保有情報を再構成（データベース化）する。

(2) 推論 AI

モデリングにより整理された情報を入力として、適切と考えられる複数の設問候補を導出理由を含めて導き出す。

(3) 意思決定支援

推論 AI にどのような教材にしたいか命題を与える画面及び推論 AI が導出した設問候補を決定する画面のユーザーインターフェースを作成することで、教材作成者を支援する。

3. 2 スケジュール

本プロジェクトは以下のスケジュールで推進した。

	2018年									
	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	
イベント		▼概念検証の評価					▼設問属性抽出の評価			
【PoC】 概念検証/ 属性抽出	推論AI 骨格設計									
	推論AI製造									
	関連コンテンツ設計									
	設問属性 抽出観点検討									
	設問属性設計									
【Iteration1】 AIエンジン開発								要件定義		

図 3 スケジュール

3. 3 実現方式

本プロジェクトではディープラーニング型 AI の適用を見送っている。その理由は、ディープラーニング型 AI が特徴によって事象の分別はできるが、どういう特徴で分別したのか(判断理由)を人間に説明できない原理的課題が内在すると考えられるためである。

3. 3. 1 推論 AI

推論 AI の中核は決定木(decision tree)を使用して命題を解くことを目指す。

(1) 推論 AI の全体概要

出題枠単位を命題として演繹エージェントが処理し、演繹コーディネータが取り纏めて設問候補を提示する。推論 AI の機能コンポーネントの概要図及び役割を図 4、表 1 に記載する。

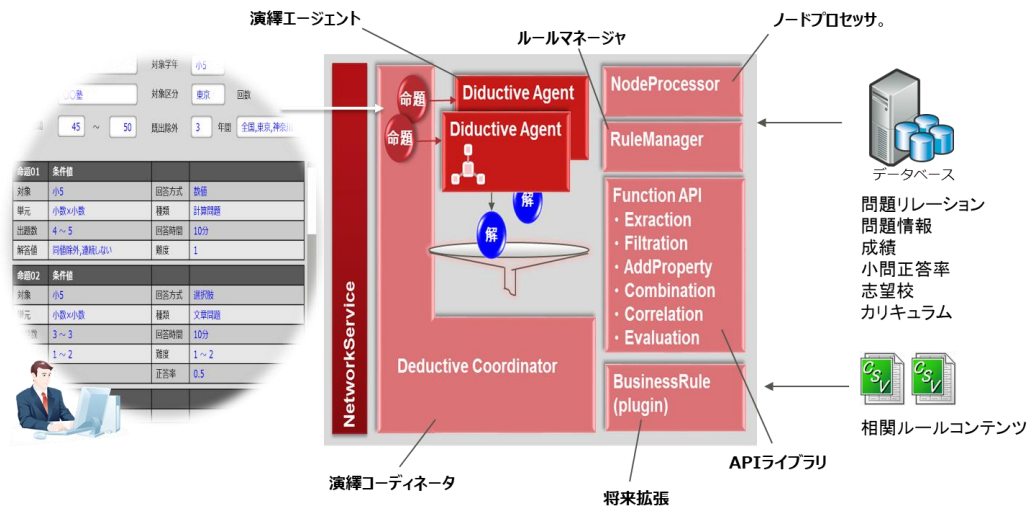


図 4 推論 AI の機能コンポーネント図

表 1 推論 AI の機能コンポーネント説明

機能名	説明
演繹エージェント	命題を入力に決定木を作成する。
演繹コーディネータ	命題の解決を演繹エージェントに依頼し、導出された解を組み立てし、教材単位(模擬テストなど)の候補を返却する。
ノードプロセッサ	決定木のノード処理を非再帰処理に変換することでメモリ・リソースの消費を抑える。
API ライブラリ	推論に必要な基本ライブラリ。
将来拡張	新たなビジネスルールを容易に組み込み可能にする。
ルールマネージャ	推論に必要なルールコンテンツを読み込みし、キャッシングする。

(2) 推論 AI の仕組み

命題を演繹コーディネータに与えると、演繹コーディネータは演繹エージェントに推論を依頼する。演繹コーディネータは、同時に複数の命題を与えることを可能とす

る。その場合、命題単位に演繹エージェントを呼び出す。演繹コーディネータは、演繹エージェントが導出した解を組み合わせ・編集・評価を行い教材作成者に返却する。

教材作成者は、教材を作成する大目的があり、教材を構成する枠組み(章立など)の単位に命題を設定し、推論システムに依頼する。

推論の始まりは、決定木のルートノードから始まる。各ノードは命題に直接関連するキー及び属性を抽出する。

推論システムの内部では、抽出した値を命題に従属するキー集合としてとらえ、次に、キー集合の組み合わせを作成し、相関ルールに照会することで、ありえない組み合わせを除外する。

(3) ユーザーインターフェース

出題したい設問属性を推論 AI に与える命題として画面 (図 5) から指示する。

教材名	〇〇模試	対象学年	小5	実施年度	2017
提供先	〇〇塾	対象区分	東京	回数	2回目
出題回答時間	65 ~ 70	既出除外	3	年間	東京, 神奈川, 埼玉
実試験時間	50				

命題01	条件値	対象	回答方式	単元	出題数	解答値	種類	回答時間	技能
		小5	数値	小数×小数	4 ~ 5	同値除外, 連続しない	計算問題	10分	1~2

命題02	条件値	対象	回答方式	単元	出題数	ひねり	種類	回答時間	習熟度	正答率
		小5	選択肢	小数×小数	3 ~ 3	1 ~ 2	文章問題	10分	1 ~ 2	0.5

命題03	条件値	対象	回答方式	単元	出題数	ひねり	種類	回答時間	習熟度	正答率
		小5	選択肢	小数×小数	3 ~ 3	1 ~ 2	文章問題	10分	1 ~ 2	0.5

図 5 画面イメージ図

(4) ルールコンテンツ

設問と設問の関係は原則、表 2 の 2 項関係で整理する

表 2 2 項関係

No	関係性	説明	定義
1	依存関係	設問 A を出題するならば、設問 P の出題は必須	$A \times P = \text{依存}$
2	排他関係	設問 B と設問 P は同時出題不可	$B \times P = \text{排他}$

2 項関係で定義しておくことで、新たに設問を追加する場合、その追加設問と既存設問にのみ着目して関係を定義すればよくなり、ルールコンテンツの影響範囲・維持作業が最小限になる。これは、連鎖的な相関関係 (n 段論法的解釈) は、推論 AI が行うからである。

(5) 設問属性の仮設

出題を決定する設問属性は将来を見据えた設計が必要である。本プロジェクトでは属性化すべき観点を表 3 のとおり仮定した。

表 3 属性化すべき観点

No	観点	検討範囲
1	出題目的	模擬テスト向け・訓練向けなど教材の使用目的に応じて適切に抽出する属性を設計する。 過去問、よくでる設問など、設問を解くコツがある問題(理解とは別)、繰り返し練習すべき設問、設問文中に理解を深めるための説明が含まれる訓練向け設問など。
2	地域性	地域性や文化などに密着した教材 出題内容が「身近である題材」を選択していることから、提供対象を限定する設問。 設問の地域属性と提供者との排他関係(または必須依存)を整理する。
3	題材	例 題材を統一するなど。 属性 ・ 田んぼの面積を求める設問の題材は、「田んぼ」 ・ 畑の面積を求める設問の題材は、「畑」
4	学びの連続性	小中接続、中高接続や教科を跨る知識が要求される実践活用設問では、科目間や対象年を超えた単元間の依存関係の整理が必要である。

4. 概念実証 (PoC)

4. 1 目的

本プロジェクトの目的は、AI を使用して設問情報から教材作成者の意図した出題候補を提示することである。

PoC では推論 AI (エンジン部) の中核理論を実装し、テストデータにて動作させることで、その理論が目的を果たせるかを実証し、今後のビジネスにおける実用性を確認する。

4. 2 実証ポイント

中核理論を検証するにあたり、はじめは題材を絞り一つの命題に対して実証する。実証は以下の観点で出題候補が導出可能であることを確認する。

- ◆ 与えられた命題に該当する「設問」が出題されること。
- ◆ 同時出題してはいけない設問が出題候補から除外されていること。
- ◆ 関係性がある設問が出題候補に含まれること。

4. 3 実証シナリオ

出題候補の抽出が比較的容易と考えられる中学 1 年生の計算問題 (205 問) を題材として問題作成が可能であるか実証する。

中学 1 年生の数学
正負の数の計算 (加減混合)
訓練・テスト問題として類題 4 問

4. 3. 1 模範抽出例

実証シナリオから教材作成者が実際に作成した設問（図 6）を模範抽出例と仮定する。

	候補1	候補2	候補3	候補4
小問 1	(1) $(-16) + (+9)$	(1) $(-27) + (+19)$	(1) $(+15) + (-23)$	(1) $(+13) + (-24)$
小問 2	(2) $(-8) - (-13)$	(2) $(-5) - (-11)$	(2) $(-38) - (-17)$	(2) $(-12) - (-35)$
小問 3	(3) $(-4) + (-7) - (-3)$	(3) $(-21) + (-4) - (-8)$	(3) $(+14) - (-5) + (-4)$	(3) $(-7) - (-12) + (-8)$
小問 4	(4) $-32 + 16 - 9 + 27$	(4) $-6 + 17 + 33 - 25$	(4) $5 - 8 + 14 - 27$	(4) $9 - 13 + 7 - 21$
小問 5	(5) $2.4 - 5.7 - 1.3 + 0.8$	(5) $0.9 - 6.4 + 3.2 - 1.6$	(5) $-0.8 + 2 + 1.5 - 2.3$	(5) $-1.7 + 3 - 0.5 + 2.4$
小問 6	(6) $-\frac{3}{8} + \frac{5}{6} - \frac{1}{3}$	(6) $-\frac{5}{9} + \frac{3}{4} - \frac{7}{12}$	(6) $-\frac{2}{3} + \frac{5}{6} - \frac{1}{2}$	(6) $-\frac{3}{4} + \frac{4}{5} - \frac{7}{10}$

図 6 模範抽出例

4. 3. 2 検証内容

検証は以下の 2 段階で実施する。

(1) 検証 1（出題候補導出）

数学計算問題の小問にそれぞれ出題意図(命題)を条件定義し、出題候補の導出を検証する。

(2) 検証 2（類題導出）

訓練問題の設問作成を想定し検証を行う。模範解答例の小問 3 の類題を 4 問作成する出題意図(命題)を定義し、候補を導出し検証する。

4. 4 処理フロー概要

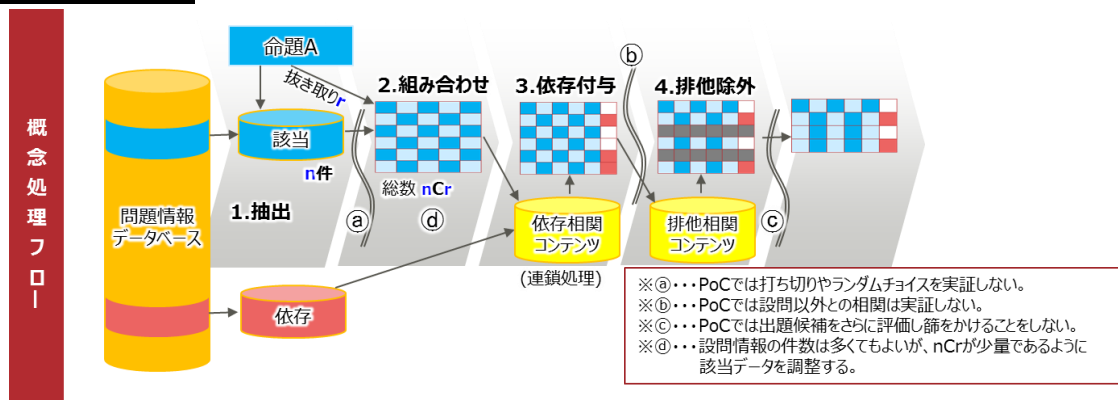


図 7 概念処理フロー

(1) 抽出

命題の説明変数などを条件にデータベースから最初の母集合を取得する。

(2) 組み合わせ

データベースから抽出した母集合(n)から、命題で指定した出題数(r)の組み合わせを作成する。

(3) 依存付与

依存相関関係を定義する。推論中に当該関係を検出した「解」の集合に追加される。原則的には2項関係の依存を定義する。

(4) 排他除外

排他的相関関係を定義する。推論中に当該関係を検出した「解」は否決される。原則的には2項関係の排他を定義する。

4. 5 実証結果

4. 5. 1 検証1（出題候補導出）の評価

(1) 小問命題の定義

業務分析した結果、数学の計算問題を出題する考え方として、数式に含まれる「括弧」、「分数」、「小数」などの属性が出題を決定するヒントになることが分かった。そのため、サンプル問題から機械的に設問属性を抽出した。

模範解答例から実証検証で必要となる命題（出題意図）は以下であると定義した。

- 小問1 : 2項の整数で-(-を含まない)
小問2 : 2項の整数で-(-を含む)
小問3 : 3項の整数で-(-と+(-を含む)
小問4 : 4項の整数
小問5 : 3項の小数
小問6 : 3項の分数で負符号で開始

(2) 推論 AI が導出した候補

小問1

命題1	8件
No	問題
1	$(-9)+7$
2	$-11+7$
3	$-12+7$
4	$-12+5$
5	$-6+14$
6	$-7+13$
7	$-8+15$
8	$-12+5$

小問2

命題2	2件
No	問題
1	$-5-(-7)$
2	$-9-(-6)$

小問3

命題3	35件
No	問題
1	$6+(-9)-(-8)$
2	$-4+(-5)-(-13)$
3	$(+168)-(-79)+(-68)$
⋮	
33	$(+6)+(-5)-(-12)$
34	$(+5)-(-12)+(-4)$
35	$(+17)+(-28)-(-19)$

小問4

命題4	64件
No	問題
1	$26-18+12-33$
2	$-5+6-19+7$
3	$-6+11-15+8$
⋮	
62	$(+7)-(-11)-(+6)+(+8)$
63	$37-68-25+52$
64	$17-23+12-8$

小問5

命題5	7件
No	問題
1	$-1.1-(-2.4)+3.2$
2	$-3.2+5.1+(-7.6)$
3	$(+8.7)+(-32.9)-(-1.3)$
4	$0.8-1.6+0.9$
5	$(+1.9)-(-0.3)+(-5.1)$
6	$(+3.6)-(+1.2)+(-0.7)$
7	$-4.8+5.1-6.5$

小問6

命題6	5件
No	問題
1	$-\text{分数}(3.1)+\text{分数}(4.1)-(-\text{分数}(8.5))$
2	$-\text{分数}(3.1)-\text{分数}(4.1)+\text{分数}(6.5)$
3	$-\text{分数}(6.5)-\text{分数}(3.1)+\text{分数}(4.3)$
4	$-\text{分数}(6.5)+\text{分数}(2.3)-\text{分数}(4.3)$
5	$-\text{分数}(3.1)+\text{分数}(2.1)-\text{分数}(8.3)$

図 8 検証1で推論 AI が導出した候補

(3) 検証評価

各小問に対する出題候補は、命題に対し適切に導出された。また、出題候補から除外すべき設問についても適切に除外されている。

4. 5. 2 検証2（類題導出）の評価

(1) 同時出題不可（設問の排他関係）の定義

類題を導出する際、式中に絶対値が同一となる二つの数値が存在した場合、同時出題不可と設定し、検証2に適用する条件とする。

例) 以下は「3」と「5」が含まれているため同時出題不可となる。

- $3+5$
- $3+5+1$
- $1-(3+5)$
- $1+(-3)-5$
- $3-5$

(2) 推論 AI が導出した候補

No	数式#1	数式#2	数式#3	数式#4
1	$6+(-9)-(-8)$	$(+4)-(-8)+(-5)$	$(-8)+(-5)-(-16)$	$(-7)+(-5)-(-4)$
2	$(+5)-(-12)+(-4)$	$(+3)-(-6)+(-14)$	$-4+(-5)-(-13)$	$(+2)-(-8)+(-5)$
3	$(+168)-(-79)+(-68)$	$14-(-5)+(-4)$	$6+(-3)-(-7)$	$(+8)+(-6)-(-4)$
4	$-9-(-7)+(-4)$	$(-27)+(-4)-(-19)$	$7+(-15)-(-3)$	$(-5)+(-4)-(-8)$
5	$(+4)-(-3)+(-11)$	$(+17)+(-28)-(-19)$	$10+(-15)-(-7)$	$(-5)+(-6)-(-4)$
6	$4+(-9)-(-7)$	$(+24)-(-6)+(-19)$	$(+19)+(-42)-(-36)$	$1-(-5)+(-8)$
7	$-55+(-18)-(-63)$	$(-4)+(-16)-(-8)$	$(+17)-(-32)+(-28)$	$(-20)-(-4)+(-8)$
8	$12-(-2)+(-9)$	$(+6)+(-5)-(-12)$	$(-6)+(-3)-(-17)$	$(+4)+(-3)-(-12)$

図 9 検証2で推論 AI が導出した候補

(3) 検証評価

各小問に対する出題候補は、命題に対し適切に導出された。また、同時出題不可の出題組み合わせも適切に候補から除外されている。

4. 6 発生した課題と対策

上記の結果を得るにあたり、いくつかの課題が発生し、その対策を検討した。

4. 6. 1 課題1

(1) 課題内容

入力に使用した現在の設問情報データベースをそのまま使用しても意図どおりの出題候補を導出できない。

(2) 対策

出題意図を照合する属性値が設問情報データベースの項目に存在しなかったため、

設問文書を解析し、出題意図となる属性を設問に付与した。

なお、概念実証では数式問題のみ実証を行ったが、数式問題以外に文章問題が想定される。文章問題は設問情報データベースをそのまま使用しても意図どおりの出題候補が導出できない可能性が高く、属性の追加が必要と考える。しかし、文章問題から機械的に出題意図を抽出することは難しく、また、人間がすべての出題意図を属性として付与するためには、膨大な作業量が見込まれる。そのため、人間系作業の省力化をどこまで実現できるか検討する必要がある。例えば、文章問題から機械的に出題意図を抽出するためには以下の課題がある

◆ 文書以外(図)はテキストマイニングできない

図 10 のように設問の特徴になるキーワードが、図中にあり、テキストマイニングでは設問文書から適切な特徴をつかめそうにない。

5 右の表は、ある中学校の1年女子の身長を調べて作ったものである。ア～エにあてはまる数を求めよ。

階級(cm)	度数(人)	相対度数
以上 未満		
140～145	12	ア
145～150	21	0.14
150～155	36	イ
155～160	ウ	0.30
160～165	27	0.18
165～170	エ	0.06
計	150	1.00

図 10 「図」を含む設問

◆ 英文と日本語の文書解析方法が異なる

英語科目の設問文書は、日本語文と英文が混在しておりテキストマイニングが困難である。これは、日本語の形態素解析と英語の形態素解析のやり方が異なっており、混在に対応している解析ソフトがないことに起因する。

◆ 「ひらがな」が多用される文書の解析

小学生向けの設問など、ひらがなが多用される文書となっていると考えられる。日本語文書のテキストマイニングは、最初に単語を区切った文書「分かち書き」に変換するところから始まる。この際、高度な処理を施さないと漢字で書いた文書の解析結果と異なってしまう場合がある。

4. 6. 2 課題 2

(1) 課題内容

類題を出題する際、組み合わせ数が多く人間が選択するには候補数が過剰である。

類題導出の実証では類題組み合わせを出題目標としたが、組み合わせ数が 32,608 件も導出されたため人間が判別できる量を超えていた。更に絞り込みを行う工夫が必要である。

(2) 対策

以下の3案を検討し(イ)を採用する。

(ア) クラスタ分析により出題の系統を評価し表示する方法

数式に使用された値や数式の特徴を変数とし、階層クラスタ分析を行い、デンドログラム¹を作成し系統を候補として選択するような仕組みを考える。

本手法は今回の32,608件に対し、ウォード法²を使用した階層クラスタ分析を実施したが、分析に長時間を要し断念した。候補数が大量の場合は使用できないと判断する。

(イ) 類題の組み合わせからパターンを分析し表示する方法

候補となる組み合わせのうち、同じ設問を一切含まないもののみを候補として表示する。

本手法は今回の32,608件に対し、処理を実施したところ8パターン(候補)に絞り込まれたため、有効と判断し、本手法を採用する。

(ウ) 類題の組み合わせから自動的にランダムに選択する方法(未検証)

候補全部を表示せずランダムに観察可能な件数を選択し絞り込む。ただし、本手法については本来の目的から外れるため除外した。

4. 6. 3 課題3

(1) 課題内容

類題導出の実証試験では、3項を前提とした作問であるが、2項の設問との途中計算結果が同じものを排他関係にするなどの対応が必要である。

例) $3+5+1$ と $8+1$

(2) 対策

実証試験では3項と2項の排他は行えなかった。本実証では2項の同値を含む計算式を機械的に排他関係とすることに留め、今後の継続課題とした。

例) $3+5+1$ と $5+6+1$ は両方とも「5」と「1」を含むため排他関係とした。

4. 7 概念実証の総合評価と考察

4. 7. 1 AIを使用した教材作成支援の実現性

設問情報データベースに出題意図となる属性を追加することを前提にした場合、4. 5項の評価の結果から推論AIを使用した教材作成支援の実現性は高いと判断する。

4. 7. 2 実現に向けた最重要課題

教材作成者と評価した結果、課題1に示した「設問情報に出題意図となる属性を追加すること」が最も重要な課題として認識された。この課題は数学に特化したことではなく、検証範囲を他の科目に広げて効率的な設問属性の抽出方法を検討した。

¹ デンドログラム：クラスタ分析において各個体がまとめられていくさまを表した樹形図のこと

² ウォード法：クラスターリング手法の1つ。他の手法と比べて分類感度が良いといわれている

5. 設問属性検討

5. 1 設問属性について

過去に出題された設問を蓄積した情報を再利用するためには、新たに出題する意図に対応した設問を適切に抽出する必要がある。そのためには、設問に出題意図を条件に抽出するための属性があらかじめ付与されている必要がある。

(1) 出題意図属性（類題関係）

出題意図は、知識や技能などを問いかける条件を指し、過去に同じ出題意図で作成された設問が蓄積されていることから、一つの出題意図に該当する設問は複数存在する。本プロジェクトでは、この設問の集合を類題とし、出題意図に沿った設問を特定することは、類題が特定できることであると仮定した。

(2) ヒント属性（排他関係）

類題はすべて同じ出題意図で作成されていることから、類題のどれを選択してもよいことになる。しかし、実際に模擬テストや問題集などを構成することを考えると単純ではない。例えば、1 問目の設問の解答語句が、2 問目の設問文中に出現する場合、1 問目と 2 問目の設問構成が適切とはいえない。このように、別の設問のヒントになってしまう設問を排他関係として属性を定義する必要があると考えられる。

(3) その他属性

模擬テストなどを構成する場合、教科書やカリキュラムの違いにより、未履修の設問を出題しないように加味する必要がある。設問を再利用する場合、過去時点と現在ではカリキュラム編成が改変されている可能性がある。また、設問文中に出現する漢字のルビ振りなども、漢字の読みの履修状態を加味する必要もある。

過去問題を再利用する上で、履修計画や漢字配当、英単語・連語の配当などを考慮した出題構成をとる必要があることから、設問に出現する漢字や英単語など、またルビの有無などから出題学年や出題月の配当属性を定義する必要がある。

更に、出題を構成するうえで解答形式や解答数、難度、字句の多さなど科目によってそれぞれであるが出題バランスを考慮するための設問属性が必要となる。

本取り組みの目的は、不足している属性を定義し、設問文書を入力に解析処理を施し、機械的に属性を抽出することで、新たに属性を定義する作業を省力化できるか、その実現方法を模索する。

5. 2 設問属性検討のポイント

5. 2. 1 出題意図属性（類題）

学力を試す内容が同じ設問をグルーピングする属性を設問文書から導出する。抽出された設問はどれを出題してもよい類題である。出題意図を判断するための基礎属性の抽出方法は科目によって異なる。

(1) 科目別類題判定方法の検討


各科目ごとに類題判定方法を検討し、実現性を検証した。結果は表４のとおり。

表４ 科目別類題判定表

科目	分類	手法	評価	
数学	数式	数式に含む項や係数、根号、分数などの数式特性を属性として抽出する。	◎	数式解析を実証実験し良好な結果を得ている。
	文章問題	統計手法による解析を行い、類題をカテゴライズする。 ① 設問文をテキスト化 ② テキストを日本語形態素解析 ③ 主成分分析 ④ クラスタ分析	△	機械的にできるのは、①のみ。②～④は手動操作にて処理を行う。
理科	全般	特徴語句辞書を用い、機械的に類題を特定する。 原則は学年・小単元に閉じた類題解析であるが、一部は指定単元に跨る複数単元から類題を特定する。	◎	解答語句が特徴的であることから特徴語句をサンプリングに対し仮作成し、実証実験し概ね良好な結果を得ている。
	計算問題	解答が数値の設問は、単元に出現する単位や式の解析により分類する。	○	単元内の計算問題は単位などによって特徴付け可能。
社会	歴史	特徴語句辞書を用い、機械的に類題を特定する。 原則は中単元(学年は含まない)に閉じた類題解析を行う。 一部の特徴語句(国名など)は、ヒント問題解析の対象外として例外処理する。	○	解答語句が特徴的であることから特徴語句をサンプリングに対し仮作成し、実証実験し概ね良好な結果を得ている。
	地理			
	公民			
国語	漢字読み書き	漢字の配当辞書を使用し、学年・履修月を特定する。 他の設問文中に漢字やルビの出現を捉えヒント問題を除去する排他関係を導出する。	○	部分的実証実験を行ない、実現可能と考えられる。
	活用	メタ及び特徴辞書による解析を行う。	△	未実証
	読解	メタ及び設問文の語数、文字数などにより分類	△	未実証
英語	全般	基本的にはメタに記載された単元で分類する。一部の単元は、文書解析により英文の品詞分析と特徴パターン辞書によって特定する。	△	未実証 連語や品詞分析に照応させる特徴パターン辞書を作成する必要がある。

(２) 特徴語句の作成単位や設定について

特徴語句は以下のルールに則って作成する。

- ◆ 原則科目単位に作成する。
- ◆ 照応対象を単元に限定することを可能とする。
社会などにおいて、地図記号などの解答「 =工場」が特徴的であるが、単元を限定しないと地理以外で特徴的でないが照応してしまう。
- ◆ 照応対象を「問題」、「解答」、「選択肢」、「説明」の組み合わせを限定させることを可能とする。
- ◆ 特徴語句の除外照応を可能とする。
特徴語句が「漢字一文字」の場合や「ひらがな」などの場合、無関係な語句に照

応してしまうことがある。これを除外するために照応対象外のパターンを定義可能とする。

例 理科 魚の「えら」 の誤照合のパターン

㊦考えられる → 除外定義：「考えら」

㊦変えられる → 除外定義：「変えら」

㊦伝えられる → 除外定義：「伝えら」

- ◆ シソーラス(同義の別表現)に対応することで、別表現による類題誤判定を回避する。

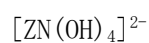
例 「花びら」=「花卉」

- ◆ 正規表現による照応を可能とする。

ワイルドカードや、(「語句 A」または「語句 B」)かつ「語句 C」などの複雑な条件に対応する。

- ◆ 上付き文字、下付き文字などに照応可能とする。

例 化学式・イオン式



5. 2. 2 ヒント属性 (排他関係導出)

設問文や解答が別の設問を解答するヒントになりえる関係性を設問文書から導出し、排他関係とする。ヒント属性の導出方法は科目によって異なる。導出方法を表 5 に記載する

表 5 科目別排他関係導出手法

科目	手法
数学	<p>計算問題において、2 項の同値を含む計算式を機械的に排他関係とする 例) $3+5+1$ と $5+4+3$ は $3+5$ という計算過程が同じため、排他関係となる。</p> <p>機械的に同時出題不可が導出できず、教材の候補として提示された場合は人間系で、「同時出題不可」と定義できるようにする。</p>
理科	<p>解答語句中の語句が他の設問文中(選択肢を含む)に出現する場合に排他関係とする。 例) 以下のように Q2 の設問文中に Q1 の解答のヒントがあるため、排他関係となる。</p>
社会	<p>Q1: <u>単子葉類</u>が持つ根を何というか 答え: ひげ根 Q2: <u>ひげ根</u>をもつ植物のなかまは、双子葉類と単子葉類のどちらか 答え: 単子葉類</p>
国語	<p>漢字の読み取り問題が他設問文中の同一漢字のルビに照応する場合に排他関係とする。 例) 以下のように Q2 や Q3 の文章中のルビが Q1 の読取問題の解答のヒントなるため、排他関係となる。</p> <p>Q1: (漢字読み) <u>遊具</u>で遊ぶ 答え: ユウグ</p> <p>Q2: (長文読解) 太郎は<u>ユウエンチ</u>に走った。・・・</p> <p>Q3: (長文読解) 人間は<u>ドウグ</u>を使うことで・・・</p> <p>漢字の書き取り問題が他設問文中の同一漢字に照応する場合に排他関係とする。</p>

	<p>例) 以下のように Q1 の漢字書き取り問題の答えが Q2 の文章中に存在するため、排他関係となる。</p> <p>Q1: <u>ヨル</u>おそくまで遊んではいけません。 答え: 夜 Q2: 太郎は<u>夜間</u>に何を行ったか答えなさい。 答え: 昆虫採集</p>
英語	<p>解答の英単語が他設問文中に出現する場合に排他関係とする。 例) Q1 の解答が Q2 のヒントになるため、排他関係となる。</p> <p>Q1: 英文中の誤りを指摘し正しいものに直しなさい Look at <u>that</u> pictures over there. I like <u>them</u> very much. 答え: those</p> <p>Q2: 括弧内の正しいほうを選びなさい I like (that, those) children very much. 答え those</p>

5. 2. 3 その他の属性

(1) カリキュラム（履修計画の変遷対応）

社会は、学校によってザブトン型（学年によって 1 年間地理または歴史のどちらか一方のみを学習し、3 年生になって公民を学習）とパイ型（地理と歴史を 1～2 年生のうちに学習し、3 年生になって公民を学習）の学習方法があり、大単元～小単元に対応して履修学年が異なるため定義が必要である。

設問情報の学年は、ザブトン型とパイ型で履修学年が異なる場合、複数の学年に付属する設定をしている。ただし、設問情報は、台割³した場合のみ、台割対象の模擬テストなどの学年を設定しているため、メタの学年は使用しない。

(2) 出題バランス

出題の体裁にたいする統一感やバランスを調整するための属性。体裁を整える情報は設問情報データベースにないため設問文書から抽出する。設問文書から抽出する体裁関係の属性は以下のとおり。

- ◆ 選択問題の表現。()内から選ぶか、ア～エから選ぶか など
- ◆ 選択肢の数
- ◆ 記述問題の空所の数

(3) 漢字ルビ属性

設問文中の漢字の読みが配当学年に達していない場合でルビが記載されていない場合は、警告する。ルビは設問文書から抽出する。

5. 3 設問属性検討の総合評価と考察

これまでの検討の結果から表 6 に示すように、科目ごとや科目共通の教材編集仕様や属性の機械的導出可能な範囲が判明した。ただし、検討時間の関係で科目ごとに検討精度に

³ 台割：製本するための設計

多少のばらつきがある。

表 6 属性の機械的抽出の可能範囲

No	科目	属性の機械的抽出が可能な範囲
1	数学	小・中学生の数式を使用した計算問題
2	理科	中学生の全範囲
3	社会	中学生の全範囲
4	国語	漢字の読み書き
5	英語	なし（未検証）

6. 今後の取組み・展望

今後の取組みとしては、大きく二つの方針が考えられる。

- ① これまでの取組みで検討不足となっている数学、国語、英語の機械的属性導出について継続検討を行う。検討完了後、システム開発へ進むウォーターフォール型の開発方針。
- ② これまで検討した内容でシステム開発を行い機能提供する。その後、教材作成者からのフィードバックや追加要件を反映し機能充足を行うイテレーション型の開発方針。

お客様と協議した結果、イテレーション型の開発を採用し、現時点で検討が完了している範囲の機能提供を目指すこととなった。

将来的には出題すべき設問を生徒一人ひとりの学力、目的、予定に合わせて導出すべき設問を推論するアダプティブ教材の作成が可能なシステムを目指す。

7. おわりに

本稿では教材作成において、推論 AI が適用できるかの検証、検証過程における新たな課題とその対策、実証検証での成果について述べてきた。次ステップとして試行できるシステムの開発を行う。今後のイテレーション開発を通じて、教材作成支援システムの対応範囲の拡大、継続的な精度向上を目指していく。

今回の取り組みを通じて、顧客ビジネスの理解を深めることができた。今後の ICT 環境の発展、進化に合わせて、顧客ビジネス市場である学校・塾の授業体系、内容の変革が加速していくと想定される。教材作成に限らず、顧客ビジネスの成長を支援することが当社における役割として貢献していきたい。

参考文献

- [1] 総務省：ICTの進化が雇用と働き方に及ぼす影響に関する調査研究
http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/linkdata/h28_03_houkoku.pdf
- [2] 株式会社ALBERT：クラスター分析の手法②（階層クラスター分析）
https://www.albert2005.co.jp/knowledge/data_mining/cluster/hierarchical_clustering
- [3] 西岡加名恵：新しい教育評価入門、有斐閣コンパクト、(2015)
- [4] 松尾知明：21世紀型スキルとは何か コンピテンシーに基づく教育改革の国際比較、明石書店、(2015)
- [5] 文部科学省：次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめ
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/gaiyou/1377051.htm
- [6] 文部科学省：新しい学習指導要領の考え方
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/_icsFiles/afieldfile/2017/09/28/1396716_1.pdf
- [7] 国立教育政策研究所：評価基準の作成 評価方法等の工夫改善のための参考資料
<http://www.nier.go.jp/kaihatsu/shidousiryou.html>