

BOM エージェントの実現に向けた LOD の構築*

江上 周作^{†a)} 川村 隆浩[†] 藤井 章博^{††} 大須賀昭彦[†]

Building of Industrial Parts LOD for BOM Agent*

Shusaku EGAMI^{†a)}, Takahiro KAWAMURA[†], Akihiro FUJII^{††}, and Akihiko OHSUGA[†]

あらまし ものづくり分野においては多種多様な部品が製品として流通している。流通を支援する企業間の Electronic Data Interchange (EDI) 実現のためには、製品情報のコード体系が不可欠であり、それらは企業団体において管理・運用されている。これらのコード体系を Linked Open Data (LOD) 化し、設計や販売などのデータとリンクすることで、設計工程から流通工程や販売価格に至る、製造業の業務を支援する有用なエージェントの開発が可能になると考えられる。そこで、我々はこれまで機械部品流通に注目し、ねじコード体系を基にした LOD (ねじ LOD) の構築と利活用の検討を行ってきた。しかし、ねじ LOD を業務支援に活用するためには、外部データセットや企業データとのリンク付けなどによるデータの拡充が課題であった。本研究では、ねじ LOD を Bill of materials (BOM) に応用した業務支援エージェントの実現を目的とし、ねじ LOD の拡充を行った。具体的には、類似度計算を用いた DBpedia Japanese とのリンク付けを行い、適合率 88%を確認した。また、スクレイピングによる商品提供関係の構築を行った。更に、ねじ LOD を BOM に応用したエージェントの例について述べる。

キーワード セマンティック Web, Linked Open Data, エージェント, ものづくり

1. ま え が き

国内における Linked Open Data (LOD) は年々増加しており、地域情報、災害情報、学術情報、サブカルチャーなどの様々な分野の LOD 化が進んでいる。LOD とは、データを統一化された機械可読形式である、Resource Description Framework (RDF) 形式で Web 上に公開し、データ同士をリンクさせる仕組みである。一方で、ものづくり分野においては、LOD 化の余地が多くみられる。ものづくり分野において LOD が普及すれば、工業製品の発展に貢献する、新たな情報システムの開発につながると考えられる。例えば、企業が自社の製品情報や、製品同士の関係を LOD として公開することで、別の個人が新たな価値を訴求

する製品を開発することが可能になる。LOD により、製品同士や他のデータとのつながりが可視化され、新たなサービスの創造に結びつく可能性が考えられる。例えば、EC サイトと連携させた商品販売支援や、企業内システムと連携させた業務支援につながると考える。そこで、我々はこれまで、ものづくり分野の中でも機械部品流通に注目し、ねじ・締結具に関する LOD (ねじ LOD^(注1)) の構築と活用を行ってきた。具体的には、大阪鋌螺卸商協同組合^(注2)の有する、Electronic Data Interchange (EDI) 向けのねじ製品コード体系 (N 研コード) を LOD 化し、その利活用を検討する目的で、CAD 図面と連携したアプリケーションを開発した [1], [2]。

本研究では、ねじ LOD の更なる利活用を目指し、ねじ LOD を Bill of materials (BOM) に応用した BOM エージェントの開発を目指す。BOM とは製造業で用いられる部品表であり、設計、購買、製造、管理、販売などの様々な部門で利用されている。本研究では、BOM に対して以下の処理を行うエージェント

[†] 電気通信大学大学院情報システム学研究所, 調布市
Graduate School of Information Systems, The University
of Electro-Communications, 1-5-1 Chofugaoka, Chofu-shi,
182-8585 Japan

^{††} 法政大学理工学部, 小金井市
Faculty of Science and Engineering, Hosei University, 3-7-2
Kajino-cho, Koganei-shi, 184-8485 Japan

a) E-mail: egami.shusaku@ohsuga.is.uec.ac.jp

* 本論文は、システム開発論文である。

DOI:10.14923/transinfj.2014SWP0019

(注1): <http://monodzukurilod.org/nejji/>

(注2): <http://www.daibyokyo.com>

を、BOM エージェントとして定義している。

- BOM 内に記述されている部品名称・略称・コードを、エージェントを通して統一的に扱えるようにする

- ユーザに代わって BOM から部品検索や代替部品の推薦を行う

これを踏まえ、BOM エージェントが活用できるようなデータとしての必要条件を以下のように定義している。

(1) 実際に用いられている共通化されたコード体系を含む

(2) LOD クラウド内のいずれかのデータセットとリンクしている

特に (2) を満たすことによって、BOM エージェントは LOD のリンクを辿って、様々な外部知識を獲得することができる。しかしながら、これまでのねじ LOD は、LOD クラウド内のデータセットへのリンクが少ない状態であった。ねじ LOD を活用した BOM エージェントの機能を充実させるためには、外部データセットへのリンクや商品提供情報の追加など、LOD としての有用性を高める必要がある。このようなデータの拡充は、BOM エージェントでの活用のみならず、ねじ LOD が広く活用されるために必要な過程でもある。本論文では、ねじ LOD の構築手法に加えて、LOD としての有用性を高めるために行ったデータ拡充手法について述べる。具体的には、ラベルの類似度計算に基づいた DBpedia Japanese リソースとのリンク付けや、企業サイトからのスクレイピングによる商品提供関係の構築について述べる。更に、ねじ LOD を知識として活用した BOM エージェントの構築の例を示す。

本論文では、2. で国内の LOD の取り組み、LOD 化の方法、オントロジーアライメントに関する研究背景について述べる。3. ではねじ LOD について説明する。4. では外部データセットとのリンク付け手法について述べ、5. では商品提供関係の構築手法について述べる。6. ではねじ LOD を活用した BOM エージェントについて述べる。7. では評価と考察を述べ、最後に 8. をまとめとする。

2. 関連研究

2.1 国内における LOD の取り組み

近年、既存のデータベースを RDF 形式によって構造化し、LOD として Web 上に公開する動きが世界的に広

まってきた。国内でも、ヨコハマ・アート・LOD^(注3)、LODAC Museum [3]、DBpedia Japanese [4]、日本語 Wikipedia オントロジー [5] など、LOD としてデータセットを公開しているプロジェクトが幾つか存在する。また 2011 年から「Linked Open Data チャレンジ Japan^(注4)」が開催されている。これにより、LOD のためのデータセットや、LOD を活用したアプリケーションが加速度的に増加している。また、LinkData.org [6] や SparqlEPCU [7] のように、データセットの作成や、LOD を活用したアプリケーションの開発を補助するアプリケーションも開発されており、国内での LOD の普及が進んでいる。しかしながら、工業分野に関する LOD は発展途上である。海外では Markus らにより、Linked Data を用いた工業データの統合手法が提案されているが、LOD の公開には至っていない [8]。本論文で紹介するねじ LOD は、我々の知る限り工業製品に関する最初の LOD であり、現在工業分野で唯一の LOD である。

2.2 表形式データの RDF 化

表形式データから RDF を生成する手法として、行を主語、列を述語、セルの値を目的語として RDF を構築する Direct Mapping^(注5)がある。また、既存のリレーショナルデータベースから RDF を出力するツールとして、D2R Server [9] がある。W3C は、より詳細にリレーショナルデータベースを RDF にマッピングする言語として RDB to RDF Mapping Language (R2RML)^(注6)を勧告している。スプレッドシートなどの表形式データから RDF を生成するツールとしては、LinkData.org や RDF Refine^(注7)などが存在する。RDF Refine はデータクレンジングツールである Google Refine^(注8)の拡張機能であり、表の各列とプロパティをマッピングすることで RDF を生成する。しかし、本研究で使用するデータは、複数の多次元な表形式データで構成されているため、これらの手法を用いると意図した RDF を提供することができない。そこで、Apache POI^(注9)と Apache Jena^(注10)を使用して表形式データから RDF を生成した。

(注3) : <http://fp.yafjp.org/yokohama.art.lod>

(注4) : <http://lod.sfc.keio.ac.jp/>

(注5) : <http://www.w3.org/TR/rdb-direct-mapping/>

(注6) : <http://www.w3.org/TR/r2rml/>

(注7) : <http://refine.deri.ie/>

(注8) : <https://code.google.com/p/google-refine/>

(注9) : <http://poi.apache.org/>

(注10) : <https://jena.apache.org/>

2.3 インスタンスマッチングに関する研究

オントロジーアライメントにおけるインスタンスマッチングの手法として、リソースのリテラル値の完全一致や類似度計算を用いた手法がよく用いられる。例えば、コサイン類似度、編集距離、LCS (Longest Common Subsequence) などを用いてリテラル情報の類似度を計算し、類似度の高いものとリンク付けを行う手法がある [10]。また、owl:sameAs や skos:exactMatch などのプロパティによる、同義関係を利用してリンク付けを行う手法も存在する [11]。これらの手法は、対象とする二つのデータセットがどちらも大規模であり、コメント (rdfs:comment, dc:description など) や外部リンクが豊富な場合に用いられる。本論文で対象とするねじ LOD はこれらの情報が少ないため、既存手法を用いて正しいリンクを増やすことは難しい。本論文では、コメントや内部リンクが少なく、対象の LOD にリンク付け候補となるリソースが少ない中で、高い適合率でリンクを増やす方法について述べる。

3. ねじ LOD

ねじ LOD は、大阪鋸螺卸商協同組合の有する、EDI 向けのねじ製品コード体系「N 研コード」を LOD 化したものである。N 研コードは、東大阪市に本拠を置く、ねじ企業間情報処理研究会による共通コード策定への取り組みに端を発する。同研究会では、大阪、京都、奈良にあるねじ商社約 30 社が集まり、共通の EDI システムを構築することを目的に研究会を設立し、平成 9 年以来、ねじ統一名称及び関連事項のコード付け、プロトコルの制定、通信手段の決定、EDI 導入に伴う基幹システム構想の具体化などを手がけてきた。平成 16 年には、ASP 方式で Web-EDI が構築され、同研究会会員企業で利用されてきた。平成 23 年には、この研究会は発展的解消され、N 研コードは大阪鋸螺卸商協同組合の管理のもとで運用されている。

N 研コードは、商品の分類構造、分類コード、商品名コード、帳票等表記名、ねじの呼びなどが、表形式データにまとめられている。商品の分類構造を図 1 に示す。商品は大分類・中分類・小分類・細分類の四段



図 1 商品の分類構造

Fig. 1 Structure of product classifications.

階に分類されている。矢印が示すように、商品によっては大分類・中分類・細分類の三段階、大分類・小分類・細分類の三段階、大分類・細分類の二段階となっており、最終的に細分類として商品名称と帳票類用語の商品略称で締められている。我々は、これを Linked Data の基本原則に基づいて RDF 化し、ねじ LOD として Web 上に公開している。

N 研コードから RDF を生成する手法を「十字穴付なべ小ねじ H 形 JIS」を例に説明する。表 1 に総合品種マスターの「十字穴付なべ小ねじ H 形 JIS」の列を示す。表 2 に総合商品マスターの「十字穴付なべ小ねじ H 形 JIS」の例を示す。なお紙面の都合上、元のデータの行と列を入れ替えている。まず、総合品種マスターから、商品名コード、大分類名、中分類名、小分類名、細分類名、画面表記名、帳票等表記名、商品分類コードを、総合商品マスターから呼びを抽出する。商品分類コードは 2 桁の数字 1~4 桁による、最大 8 桁の数字列で構成されている。第 1 桁には大分類、第 2 桁には中分類、第 3 桁には小分類、第 4 桁には細分類のコードが入る。RDF では要素を全て一意の URI で表現するため、この商品分類コードを基にリソースの URI を作成する。各分類のリソースの URI は以下のように定義する。

<http://monodzukurilod.org/nej/ resource/{ 分類コード }>

表 1 総合品種マスター (十字穴付なべ小ねじ H 形 JIS の例)

Table 1 General kind master (Cross-recessed round head machine screw H-type JIS).

商品名コード	NMCPA			
大分類名	小ねじ			
中分類名	十字穴付小ねじ			
小分類名	十字穴付なべ小ねじ			
細分類名	十字穴付なべ小ねじ H 形 JIS			
画面表記名	(+) ナベ小ネジ H 形/J			
帳票等表記名	(+) ナベ小ネジ H 形/J			
商品分類コード	01	01	01	01

表 2 総合商品マスター (十字穴付なべ小ねじ H 形 JIS の例)

Table 2 General product master (Cross-recessed round head machine screw H-type JIS).

商品名コード	十字穴付なべ小ねじ H 形 JIS			
大分類名	(+) ナベ小ネジ H 形/J			
中分類名	NMCPA			
商品分類コード	01	01	01	01
呼び	M1.6X888			
	...			
	M10X888			

表 3 リソースの URI と名称の対応例
Table 3 Examples of URI and name of resources.

リソースの URI	リソースの名称
http://monodzukurilod.org/neji/resource/01	小ねじ
http://monodzukurilod.org/neji/resource/0101	十字穴付小ねじ
http://monodzukurilod.org/neji/resource/010101	十字穴付なべ小ねじ
http://monodzukurilod.org/neji/resource/01010101	十字穴付きなべ小ねじ H 形 JIS

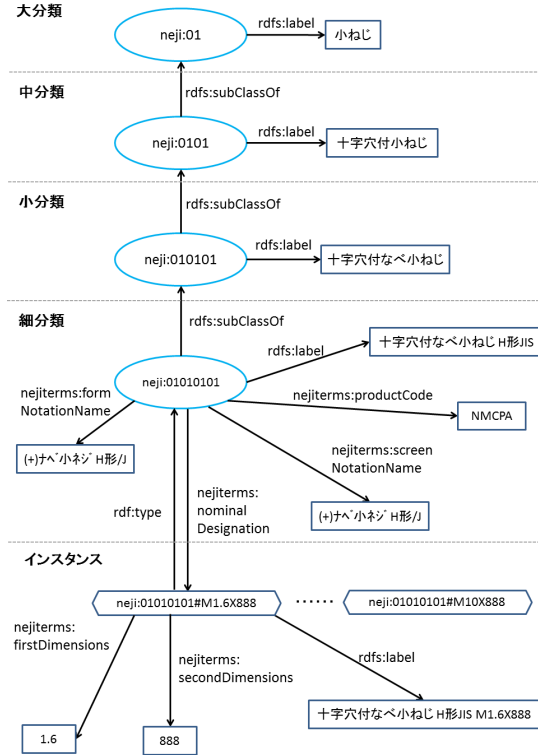


図 2 十字穴付なべ小ねじ H 形 JIS の RDF グラフ
Fig.2 RDF graph (Cross-recessed round head machine screw H-type JIS).

また、QName における接頭辞は「neji」とする。表 3 にリソースの URI と名称の対応例を示す。構築したねじ LOD の RDF グラフの一部を、「十字穴付なべ小ねじ H 形 JIS」を例に図 2 に示す。

4. BOM エージェントのための LOD 拡充

本章では、ねじ LOD を BOM エージェントにおける知識データベースとして活用するために行った、ねじ LOD の拡充手法について述べる。図 3 に本研究の全体像を示す。

4.1 追加情報リソースとのリンク付け

ねじ LOD は他の LOD へのリンクとして、DBpedia Japanese へのリンクを含んでいる。しかし、これまでリンク付けの手法は単純な文字列マッチングであり、その結果リンク付けされたリソース数は 11 件と極めて少数であった。そこで、リンク数を増加させるため、リソースのラベルの類似度計算に基いたリンク付けを行った。本手法について以下に述べる。

まず、DBpedia Japanese の SPARQL エンドポイントから、「製造」「機械要素」カテゴリ以下に分類される全てのリソースを取得する。ねじ LOD の一つのリソースに対して、DBpedia Japanese から取得した全てのリソースとの類似度を計算する。類似度は編集距離を用いた式に重みを加えた式 1 により算出し、この値がしきい値未満の場合リンク付けする。

$$\text{sim}(l_a, l_b) = 1 - \left(\frac{\text{EditDist}(l_a, l_b)}{\max(|l_a|, |l_b|)} * \alpha * \beta \right) (1)$$

l_a はねじ LOD のリソースのラベル、 l_b は DBpedia Japanese のリソースのラベルである。 $\text{EditDist}(l_a, l_b)$ は l_a と l_b の編集距離であり、 l_a を l_b に変形する際の、文字の削除・挿入・置換の回数である。編集距離には、文字の削除・挿入・置換のコストをそれぞれ 1 とするタイプと、置換のコストを 2 とするタイプがある。本手法では後者の編集距離を用いる。 α は l_a, l_b の LCS が三つ以上の分割された文字列から構成されるときに 1.5 とし、そうでないときは 1 とする。 β は DBpedia Japanese のリソースが、「ねじ」カテゴリに属しているリソースと、dbpedia-owl:wikiPageWikiLink プロパティの関係にあるときに 1.5 とし、そうでないときは 1 とする。このように編集距離に基づく式に重みを加えることで、適合率の向上を計っている。リンク付けに使用するプロパティは、owl:sameAs ではなく rdfs:seeAlso とした。owl:sameAs プロパティでリンクした場合、二つのリソースがもつ全てのプロパティを入れ替えても、整合性が保たれることを保証する。しかし、DBpedia Japanese のリソースとねじ LOD のリソースが完全に同一とは言えず、owl:sameAs プロ

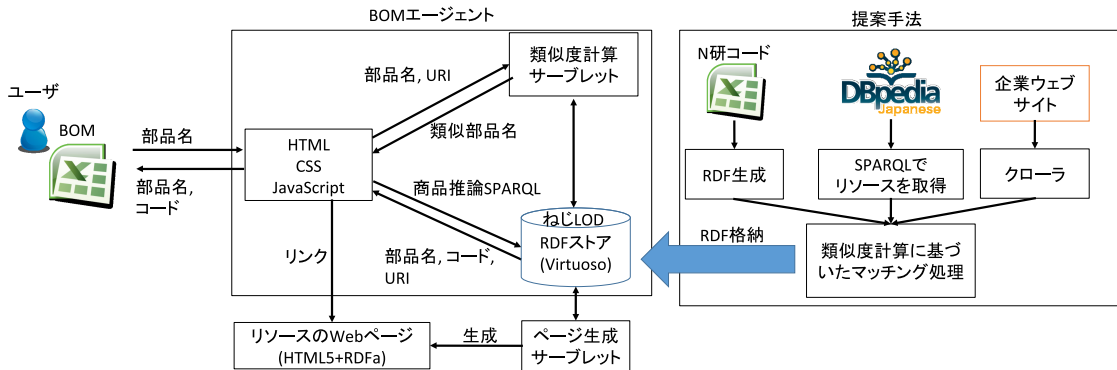


図 3 提案手法と BOM エージェントの全体像
Fig. 3 Overview of the proposed method and BOM agent.

パティの使用は正しくないと考えたため、`rdfs:seeAlso` プロパティを使用した。 `rdfs:seeAlso` プロパティを用いることで、DBpedia Japanese リソースを追加情報の得られるリソースとしてリンク付けしている。

4.2 誤ったリンク付けの回避

4.1 の手法でリンク付けを行った結果、材料、加工方法、用途、部分名、工具、電子部品などのリソースと、誤ってリンク付けされてしまう場合があることがわかった。誤ってリンク付けされる例を以下に示す。

ボリアセタル蝶ボルト	<code>rdfs:seeAlso</code>	ボリアセタル
ローレットナット	<code>rdfs:seeAlso</code>	ローレット
ケミカルアンカー用ボルト	<code>rdfs:seeAlso</code>	ケミカルアンカー
フランジ付六角ボルト	<code>rdfs:seeAlso</code>	フランジ
タップコン/JPF ナベ	<code>rdfs:seeAlso</code>	タップ_(工具)
WA ソケット S タイプ	<code>rdfs:seeAlso</code>	ソケット_(電気器具)

これらの誤ったリンク付けを避けるために、新たに材料、加工方法、用途のプロパティを定義してリンク付けを行い、部分名、工具、電子部品に対してはリンク付けをしないという対策をとった。この手法について説明する。

まず、リンク候補の DBpedia Japanese リソースのカテゴリを 2 階層上まで調べる。リソースが「工具」カテゴリまたは「電子部品」カテゴリに属していた場合、このリンク候補リソースとのリンク付けは行わない。リソースが「材料」カテゴリに属していた場合、`nejiterms:material` プロパティでリンク付けする。同様に「加工」カテゴリに属していた場合、`nejiterms:processingMethod` プロパティでリンク付けする。材料と加工の両カテゴリに属していた場合、より近い位置で属しているカテゴリを選択し、適切なプロパティでリンク付けする。なお、リンク付

け候補のリソースが材料及び加工カテゴリより、「ねじ」「機械要素」「接合」「ファスナー」のいずれかのカテゴリに近い位置で属していた場合、`rdfs:seeAlso` プロパティを用いてリンク付けする。

次に、正規表現を用いて、ねじ LOD リソースから用途、部分名を判別する。ねじ LOD リソースから「A 用 B」「B A 用」「A 付 B」「B A 付」などのパターンに当てはまる A を抽出し、A が DBpedia Japanese のリンク候補リソース名を含む場合、これを誤ったリンクと判定する。用途に関しては `nejiterms:isUsedIn` プロパティでリンク付けをし、部分名に関してはリンク付けを行わない。

4.3 広義概念とのリンク付け

日本語版 Wikipedia の記事は、保留となっているものを除き、全ていずれかのカテゴリに分類されている。カテゴリページには記事を分野別にまとめた索引が記載されている。DBpedia Japanese では、このカテゴリページに対応するリソースを、Simple Knowledge Organization System (SKOS)^(注11) の概念として定義している。日本語版 Wikipedia の記事に対応する DBpedia Japanese のリソースは、Dublin Core Metadata Initiative (DCMI) Metadata Terms^(注12) の `subject` プロパティでいずれかのカテゴリリソースを指定し、リソースの分類を定義している。ねじ LOD は大分類リソースが最上位概念であり、27 個の大分類が存在している。各大分類はそれぞれが独立した木構造をもっている。大分類の広義概念を DBpedia Japanese のカテゴリリソースとし

(注11) : <http://www.w3.org/2004/02/skos/>

(注12) : <http://dublincore.org/documents/dcmi-terms/>

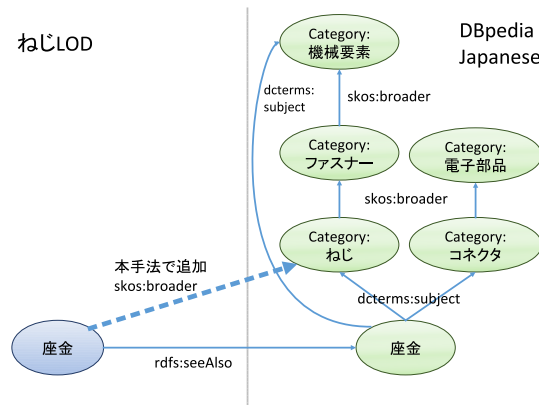


図 4 rdfs:seeAlso の関係を考慮したカテゴリーとのリンク付け

Fig. 4 The method that links to category resource of DBpedia Japanese.

て定義することで、ねじ LOD の全てのリソースから DBpedia Japanese のカテゴリーを経由した推論が可能になり、LOD としての有用性が更に高まると考える。以下で DBpedia Japanese のカテゴリーリソースを広義概念としてリンク付けする手法を述べる。

手順 1：同義関係を考慮したリンク付け

DBpedia Japanese のリソースに、4.1 の手法でリンク付けした大分類リソースに対して処理を行う。ここで、大分類リソースと `rdfs:seeAlso` の関係にある DBpedia Japanese リソースのカテゴリーは、大分類リソースの広義概念と同義であると仮定する。その上で、大分類リソースと `rdfs:seeAlso` の関係にある DBpedia Japanese のリソースが、「機械要素」「製造」カテゴリー及びそれらの下位カテゴリーに分類されているか調べる。該当した場合、そのカテゴリーをねじ LOD の大分類リソースの広義概念としてリンク付ける。複数のカテゴリーが該当した場合、それらの中で最も下位のカテゴリーを広義概念としてリンク付ける。図 4 に `rdfs:seeAlso` の関係を考慮した DBpedia Japanese のカテゴリーとのリンク付けを、座金を例に示す。

手順 2：ラベルの後方一致によるリンク付け

残りの大分類リソースの内、ラベルの末尾が「ねじ」「ボルト」「ナット」であるリソースの広義概念を、「ねじ」カテゴリーとし、ラベルの末尾が「部品」であるリソースの広義概念を、「機械要素」カテゴリーとする。また、ラベルの末尾が「リベット」であるリソースは、手順 1 での「リベット」の結果に基づき、「接合」カテ

ゴリーを広義概念とする。その他の大分類リソースの広義概念は、「ファスナー」カテゴリーとする。

5. 商品提供関係の構築

ねじ LOD と企業の商品データがリンクすることで、ねじ LOD を EC サイトや EDI, Electronic Ordering System (EOS) に応用することが可能になると考える。しかし、商品情報を XML や CSV などの、機械可読形式で Web 上に公開している企業は極めて少なく、HTML 内にテキストや画像などで商品情報を公開している企業が大多数である。そこで、企業のウェブサイトから商品情報をスクレイピングし、ねじ LOD の商品リソースとのリンク付けを行うことで、商品提供関係を構築した。本手法について以下に述べる。

まず、スクレイピングの対象となる、ねじ・締結具関連企業のウェブサイトのリストを取得する。これは、大阪鋌螺卸商協同組合の組員企業のウェブサイトと、大手ウェブディレクトリの Yahoo!カテゴリーにおいて、次のカテゴリーに登録されているウェブサイトのリストする。

- (1) 「くぎ、ねじ、留め具」カテゴリー
- (2) (1) の子カテゴリー及び子孫カテゴリー
- (3) (2) のショートカットカテゴリー
- (4) (3) の子カテゴリー及び子孫カテゴリー

ショートカットカテゴリーとは、指定のカテゴリー下の実態は存在せず、別のカテゴリー下の実態があり、指定のカテゴリーと関連付けられているカテゴリーである。

次に、スクレイピング対象となるウェブサイトから、商品情報が記載されているページのテキストを取得する。サイトによって商品情報の記載方法は異なり、トップページに全ての商品情報を記載しているサイトや、商品カタログページを設置しているサイトなどがある。より多くのサイトから商品名をカウントするため、トップページ、商品ページ、商品ページの子ページのテキストを取得する。商品ページはトップページに貼られている内部リンクの内、「商品」「製品」「カタログ」「取扱い品」「事業」のいずれかの文字列が含まれているリンクの、リンク先ページとしている。なお、リンクが画像になっている場合は、`img` タグの `alt` 属性値に上記のいずれかの文字列を含むものを商品ページとする。商品ページを特定できない場合、「お知らせ」「採用」「アクセス」「ログイン」などの、一般的に商品ページとは思われないページを除いた、サイト

内の全てのページのテキストを取得する。

ねじ・締結具の商品は、同義のものでも企業により名称が異なることが多い。そのため、単純な文字列マッチングでは、商品ページのテキストから抽出できない商品名が多い。そこで、N-gram 法と類似度計算を用いて、取得したテキストから、ねじ LOD の商品リソースと類似した商品名を検索する。N-gram 法は、検索対象のテキストを N 文字単位で分割し、分割した文字列を見出しとして出現位置のインデックスを作成する。検索語も N 文字単位で分割し、インデックスをもとに検索することで、漏れのない文字列探索が可能である。N-gram 法は完全一致の文字列探索であるため、通常の N-gram 法ではねじ LOD の商品リソース名と完全一致する商品しか検索することができない。そこで、文字列の照合時に、類似度計算を組み込むことで、ねじ LOD の商品リソース名と類似した商品名を検索することが可能になる。しかし、対象が DBpedia Japanese ではないため、式 (1) の α, β を用いることができない。また、企業が提供する商品のデータであるため、高い正確性が必要であると考え。そこで、式 (2) を用いて類似度計算を行う。

$$\begin{aligned} \text{sim2}(l_a, l_b) \\ = 1 - \frac{\text{EditDist}(l_a, l_b) - \text{Trans}(l_a, l_b)}{\text{LCS}(l_a, l_b)} \quad (2) \end{aligned}$$

$\text{LCS}(l_a, l_b)$ は l_a, l_b の Longest Common Subsequence (LCS) である。LCS とは、二つの文字列の最も長い共通部分列である。 $\text{Trans}(l_a, l_b)$ は l_a, l_b の転置可能文字列数である。転置可能文字列とは、二つの文字列に含まれており、その位置の異なる文字列である。本手法では、転置可能文字 1 文字につきコスト 1 とし、2 文字以上の転置可能文字列のみカウントする。LCS を用いることで適合率を上げ、転置可能文字列を考慮することで再現率を上げている。対象の文字列が見つかった場合、e コマースのためのオントロジーである GoodRelations^(注13)を用いて、以下のトリプルをねじ LOD に追加する。

```
@prefix rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> .
@prefix gr: <http://purl.org/goodrelations/v1#> .
@prefix rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> .
@prefix foaf: <http://xmlns.com/foaf/0.1/> .
<http://monodzukurilod.org/nej/ resource/企業名/> rdf:type
gr:BusinessEntity ;
    rdfs:label "企業名"@ja ;
    gr:legalName "企業名";
    gr:offers <http://monodzukurilod.org/nej/ resource/{
分類コード }> ;
    foaf:page <http://example.com/> .
```

企業によっては、取引レベルで使用する商品名ではなく、ねじ LOD で言うところの大・中・小分類のみを掲載している。この場合、誤ったリンク付けがされてしまう可能性がある。例えば、サイト内には「十字穴付き小ねじ」と記載されている場合、ねじ LOD の「十字穴付皿小ねじ」との類似度が高くなるため、「十字穴付皿小ねじ」を提供しているという関係が構築されてしまう。これを回避するため、ねじ LOD の商品リソースとの類似度がしきい値を超えた場合に、商品リソースの大・中・小分類のリソースとも類似度を計算する。商品リソースとの類似度より、大・中・小分類のリソースとの類似度が高くなった場合、比較した文字列は取引レベルで使用する商品名ではないと判断し、商品提供関係を構築しない。

gr:offers プロパティでは、主語になりうるクラス (domain) として、gr:BusinessEntity クラスまたは schema.org の Organization クラスを、目的語になりうるクラス (range) として gr:offering クラス (商品クラス) を定義している。そのため、range となるねじ LOD の細分類 (商品) リソースのタイプを gr:offering として定義する必要がある。しかし、商品リソースは小分類クラスのサブクラス、すなわち概念であるため、タイプを gr:offering として定義すると矛盾が生じてしまう。そこで、商品リソースのタイプを小分類クラスかつ gr:offering とすることで矛盾を解消した。また、商品リソースのインスタンスは削除し、商品リソースにリテラルとして寸法情報をもたせた。図 5 に、最終的に構築した RDF グラフを「U ボルト」を例に示す。このように、上位分類を rdfs:subClassOf プロパティでリンクし、is-a 関係を構築している。また、SKOS に対応したアプリケーションでの使用を想定し、SKOS による記述も追加した。

(注13) : <http://purl.org/goodrelations/v1>

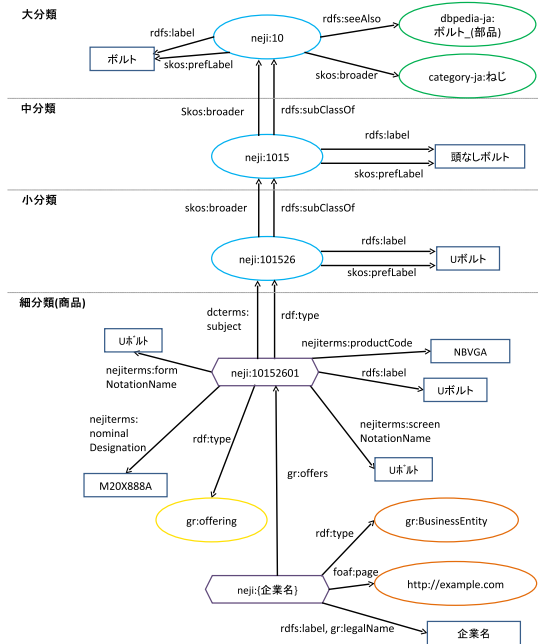


図 5 最終的に構築される RDF グラフ (U ボルト)

Fig. 5 RDF graph that is finally generated (U-bolt).

6. LOD を活用した BOM エージェントの実装例

製造業では、設計、調達、製造、販売、管理に至るあらゆる場面で、BOM と呼ばれる部品表が利用されている。BOM には、何百、何千といった商品名やコードが列挙されており、場合によっては階層構造をとっているものもある。商品名称やコードの統一化がされているねじ LOD を、BOM へ応用させることで業務支援につながると考える。我々はこの応用例として、商品の検索や統一化作業を行う BOM エージェントの例を開発した。本エージェントは、BOM の表示形式の一つであるスプレッドシートデータを対象とし、Microsoft Excel 2013 上で動作する Office 用アプリケーション [12] として実装した。UI とデータ送受信部分は HTML, CSS, JavaScript で構成されている。ねじ LOD は RDF ストアの Virtuoso に格納されており、SPARQL Protocol and RDF Query Language (SPARQL) と呼ばれるクエリ言語を受け付ける。SPARQL エンドポイントを外部に公開している。この SPARQL エンドポイントに対して、BOM エージェントから SPARQL クエリを送信することで、

図 6 BOM エージェントの動作例
Fig. 6 Screen shot of BOM agent.

ねじ LOD から必要な情報を取得することが可能である。図 6 に BOM エージェントの動作例を示す。ユーザは部品名が記入されているセルを選択し、検索ボタンをクリックすると、サブレットに部品名が送信される。サブレット側でこの部品名との類似度が高いねじ LOD リソースを検索し、類似度が高いもの順に 10 個まで表示する。類似度計算には 5. で述べた式 (2) を用いる。検索結果として大分類・中分類・小分類リソースが得られた場合、アコーディオンボタンをクリックすることで、末端の商品リソースを表示することが可能である。商品リソースは図 4 のグラフ構造の is-a 関係から導出することができる。rdfs:subClassOf プロパティは推移的であるという規則をもつため、小分類のインスタンスである商品リソースは、中分類と大分類のインスタンスでもあることが暗黙的に示される。この規則を利用し、全ての分類から末端の商品リソースを導出することが可能である。アコーディオンボタンがクリックされた時点で、SPARQL エンドポイントに対して、商品リソースに関するトリプル取得の SPARQL クエリを送信する。最終的に分類名、商品名、分類コード、商品名コードの内、ユーザが選択したものにセルの値を置換する。セルを複数選択し、一括で商品名やコードに置換することも可能である。

製造業において、BOM は様々な部門で使用されている。例えば、設計部門では設計 BOM が使用され、製品を構成する部品を記述している。購買部門では購買 BOM が使用され、見積りや発注作業に必要な数量や価格を記述している。このように、企業内でも部署ごとに異なる BOM を使用している。しかしながら、これらの BOM を管理する部署が存在しないケースがあるため、複数の BOM の乱立や、BOM 内の部品名称

の表記ゆれなどの問題が生じている。BOM エージェントのユースケースとして、このような問題が生じている企業で利用されることを想定している。利用が想定されるユーザは、各部署の BOM 作成者及び参照者であり、BOM の作成時に、BOM 内の情報の統一化や横断的な検索機能が提供される。例えば、同一製品に関して、設計 BOM と購買 BOM が存在し、BOM 内に表記ゆれがある場合を想定する。図 6 のように部品名のセルを選択して検索することで、取引レベルで使用される商品名またはコードに置換することが可能である。これにより、同一製品に関する複数の BOM の表記ゆれを解消することが可能になる。すなわち、BOM エージェントを使用することで、部署間、更には企業間での BOM 内の記述の統一化が可能になる。これにより、EOS や EDI の中でのコード管理が容易になり、業務の省力化ひいてはコストダウンにつながると考える。

また、本研究ではねじ LOD と DBpedia Japanese のリンク付けを行った。DBpedia Japanese は、現在日本の LOD クラウドの実質的なハブとなっているため、BOM エージェントはねじ LOD から DBpedia Japanese を経由して、様々な LOD のリソースを辿ることが可能になる。今後、他の工業分野の LOD が構築されたとき、それらが DBpedia Japanese とリンクすることで、BOM エージェントはそうした LOD のリソースを検索することが可能になる。例えば、購買 BOM を参照してコストの見積もりを行う場合、低価格の代替品を推薦するなどのユースケースが考えられる。更に、企業が BOM を RDF として管理し、ねじ LOD とリンクさせることで、部品関係の整理や推薦など、新たな機能の実現が可能になると考える。

しかしながら、製造業において BOM はプライベートなデータであり、入手することは困難である。そのため、実証については今後の課題としており、企業との交渉を続けている。企業の理解が得られしだい、BOM エージェントの実証を行う予定である。

7. 評価と考察

本章では、エージェントの性能に大きく影響する、4. で述べた DBpedia Japanese リソースとのリンク付けと、5. で述べた商品提供関係の構築の評価と考察について述べる。

表 4 DBpedia Japanese リソースとのリンク付けの結果
Table 4 Results of linking to DBpedia Japanese.

手法	正解トリプル数	適合率	再現率	F 値
従来手法	1367	0.51	0.42	0.46
提案手法 1	1426	0.80	0.44	0.56
提案手法 2	1465	0.88	0.45	0.59

7.1 DBpedia Japanese リソースとのリンク付けの評価

4. で述べた手法で DBpedia Japanese とリンク付けを行った結果を表 4 に示す。類似度のしきい値は 0.2 とした。一般に、他の LOD とのリンク付けにおいては、適合率を多少犠牲にしても、再現率を上げることが望まれる。これは、人間が追加処理をするに当たって、リンクの正誤の判別に比べて、新たなリンクの発見の方が難しいからである。本実験では、再現率をできるだけ高めるため、類似度のしきい値を低く設定した。しかし、しきい値を 0.1 に設定した場合では、適合率が無視できないレベルで下がってしまうという結果となった。したがって、適合率を下げすぎず、再現率を最大にすると予想されるしきい値として 0.2 に設定した。DBpedia Japanese には、ねじ・締結具に関する情報が少なく、ねじ LOD の全てのリソースがリンクするとは考えにくい。また、DBpedia Japanese のリソースの総数は 300 万以上にのぼるため、ねじ LOD とリンク付け可能な正解集合の数を、正確に把握することは困難である。そこで、本研究ではサンプリングにより正解集合の予測値を求めた。ねじ LOD から 500 個のリソースをランダムに抽出し、その内 DBpedia Japanese とリンク付け可能なリソースがどの程度存在するか、手作業により調査した。結果として、500 リソース中 312 リソースがリンク付け可能と判断でき、この割合にねじ LOD のリソース数 5243 を掛けあわせた数、3271 を正解集合の数の予測値とした。正解トリプルは、以下のいずれかの条件を満たすものとして定義した。

- 規格、材料、特徴などの修飾語以外の部分が同義
- 促音、長音符を省略した名称、正式名称の略称と同義
- 適切なプロパティを使用して修飾語部分を表すリソースとリンクしている

上記の定義にしたがった正解トリプルの例を以下に示す。

表 5 誤ったリンクの例
Table 5 Examples of incorrect links.

ねじ LOD リソース	DBpedia Japanese リソース	プロパティ
皿ばね座金	皿ばね	rdfs:seeAlso
ピラス シンワッシャー	ワッシャー	rdfs:seeAlso
十字穴付皿小ねじ 旧ピッチ	ピッチ_(樹脂)	nejiterms:material
コンクリートドリル	コンクリート	nejiterms:material

プレス製蝶ボルト 3 種三星規格 rdfs:seeAlso 蝶ボルト .
 ノブスター A 形ボルト rdfs:seeAlso ノブボルト .
 ポリアセタール六角ボルト :material ポリアセタール .
 ローレットナット :processingMethod ローレット .
 ケミカルアンカー用ボルト :isUsedIn ケミカルアンカー .

表 4 の提案手法 1 は追加情報とのリンク付け手法であり、提案手法 2 は材料、加工方法、用途、部分名、電子部品、工具に関して対処したリンク付け手法である。従来手法とは、編集距離に基づいた類似度計算手法である。表 4 より、従来の手法では適合率は 51%であったが、提案手法 1 では 80%まで向上し、結果的に F 値も向上していることがわかる。また、提案手法 2 は提案手法 1 に比べて、再現率が 1%、適合率が 8%向上している。再現率はどの手法を用いても低い結果になった。

この原因として、ねじ LOD のリソースには規格名や他の部品名などの、修飾語を含むリソースが多いこと、DBpedia Japanese に同音異義語が多いことが挙げられる。表 5 に、誤ったリンクの例を挙げる。皿ばね座金のように、二つの部品が組み合わさった名称の場合、より文字数の多い部品とリンクされてしまう。また、シンワッシャーはワッシャーという LCS を含むが、シンワッシャーとワッシャーは全く別物である。同様のことがピッチにも言える。材料のリンクに関しても誤ったリンクが存在する。例えばコンクリートドリルは材料としてコンクリートとリンクされてしまうが、実際はコンクリートに対して使用するドリルである。DBpedia Japanese では、コンクリートはコンクリートカテゴリと複合材料カテゴリに分類され、複合材料カテゴリは材料カテゴリの下位分類である。このように、DBpedia Japanese 内で材料として分類されているものでも、ねじ LOD 内では用途として扱われているものがあるため、誤ったリンク付けがされてしまう。これらの誤ったリンク付けが、適合率を下げる要因となっている。この問題を解決するために、DBpedia Japanese からカテゴリを選択してリソースを取得、フィルタリングする際は、なるべく下位の

カテゴリを選択することが望まれる。また DBpedia Japanese 及び Wikipedia の階層構造にも問題があるため、階層構造の修正が必要であると考ええる。更に、ねじ LOD には名称が 20 文字以上のリソースが 1260 個存在し、これは全体の 24%に相当する。このようなリソースは、DBpedia Japanese のリソースとの類似度が低くなるため、正確なリンク付けをすることが難しい。これが再現率を下げる要因となっている。

しかし、ねじ LOD のように、ビジネスで実際に用いられているデータを基にしたデータセットは、データの正確性が重要になる。そのようなケースにおいて、提案手法は適合率が高いことから一定の有用性はあると考える。

7.2 商品提供関係の構築の評価

5. で述べた手法で、類似度のしきい値を 0.7 として商品提供関係の構築を行った。商品提供関係は企業の情報を含むため、データの正確性が重視される。そのため、適合率を重視し、しきい値を高めに設定している。しかしながら、今回の実験においてしきい値を 0.8 に設定した場合では、適合率はあまり向上せず、リンク数が大幅に減るという結果になった。したがって、高い精度を保ちつつ、リンク数を最大にすると予想されるしきい値として、0.7 を設定した。ただし、今後は類似度の分布を調べ、より適切なしきい値の設定を行うことを検討している。なお、各企業サイトの商品記載方法や詳細度が様々であるため、企業が提供している商品の集合を取得することは困難である。更に、その集合の要素に関して、ねじ LOD に同義のリソースが存在するか調べることは困難である。したがって、正解集合の予測値を求めることが困難であるため、本実験においては適合率のみ算出した。表 6 に商品提供関係構築の結果を示す。本手法では、ねじ・締結具関連企業のウェブサイト、Yahoo!カテゴリと大阪鉄螺卸商協同組合から計 227 サイト取得した。そのうち、商品提供関係を構築できた企業は 124 企業であった。企業数が減った原因の一つは、Yahoo!カテゴリに大阪鉄螺卸商協同組合の組員以外の企業が多く含ま

表 6 商品提供関係構築の結果
Table 6 Results of building of product supplier relations.

全サイト数	227
商品提供関係を構築できたサイト数	124
トリプル数 (gr:offers のみ)	1035
誤ったトリプル数	168
適合率	0.84

れていたためであると考えられる。ねじ LOD は N 研コードを基に構築しているため、東京、神奈川、愛知などの鋳造協同組合で定められた商品名称を取得できなかったのではないかと考えられる。また、商品の説明を全て画像で行っているサイトや、商品名ではなくねじ LOD における大・中・小分類の名称で商品を紹介しているサイトが多く、商品名を抽出することが困難であった。これらの原因により、商品提供関係を構築できた企業が減る結果となった。

商品提供関係のトリプルは、適合率 0.84 と高い精度で構築することができた。適合率を下げた原因は、サイトに商品名ではなくねじ LOD における大・中・小分類を記載しており、5. で述べた手法で誤ったトリプルを除去できなかった場合が大多数であった。例えば、サイトに「テーパー座金」が記載されている場合、ねじ LOD の「テーパー座金 5°」を提供しているという、誤ったトリプルを構築してしまうことがある。しかし、「テーパー座金 5°」の大・中・小分類は、それぞれ「座金」「その他座金」「テーパーワッシャー」であるため、5. で述べた手法を用いても、「テーパー座金」は取引レベルで使用される商品名ではないと判断することができない。この問題が、適合率を下げる原因となっている。

7.3 考 察

ねじ LOD では、リソースに関する説明や owl:sameAs プロパティなどを含んでおらず、既存のリンク付け手法を用いることが困難であった。そこで、本論文で提案した手法でリンク付けを行った。ねじ LOD には名称が長いリソースや、専門用語のリソースが多いため、再現率を高めることは困難であったが、適合率に関しては高い結果を出すことができた。更に再現率と適合率を高めるためには、ねじ・締結具に関する辞書が必要であると考えられる。

ねじ LOD は、実際に用いられている共通化されたコード体系であるため、1. で述べた BOM エージェントが活用できるようなデータとしての必要条件の (1) を満たす。また、提案手法により、ねじ LOD は

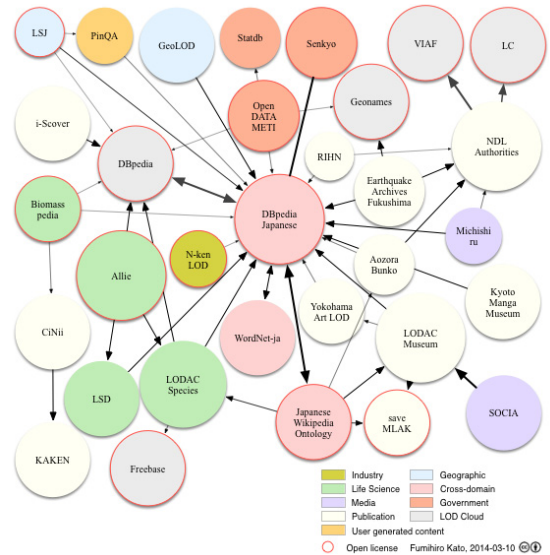


図 7 日本語版 Linked Data cloud diagram (2014 年 3 月 10 日版) [13]

Fig. 7 Japanese Linked Data cloud diagram (10/3/2014).

DBpedia Japanese とリンク付けされたため、(2) の条件も満たしている。したがって、ねじ LOD は BOM エージェントが活用できるようなデータとしての条件を、全て満たしたと考える。

ねじ LOD (N-ken LOD) は図 7 に示す日本語版 Linked Data cloud diagram^(注14)に含まれている。日本語版 Linked Data cloud diagram は日本の LOD の繋がりを、次の条件に従って可視化したダイアグラムである。

- (1) データ公開者が日本にいる人・組織等である
- (2) 日本語のラベルがある
- (3) トリプル数が 1,000 以上でなければならない
- (4) 図内に既にあるデータセットあるいは LOD クラウドのデータセットへの 10 以上の RDF リンクがある

- (5) http (https) URI を参照解決可能であるか、RDF ダンプか、あるいは SPARQL Endpoint を提供している

本家の LOD cloud diagram に含まれる条件では、LOD クラウドのデータセットへの RDF リンクが 50 以上でなければならないという条件があり、本研究以前のねじ LOD ではこの条件に当てはまらなかった。本研究で行った DBpedia Japanese とのリンク付けに

(注 14) : <http://linkedopendata.jp/?p=486>

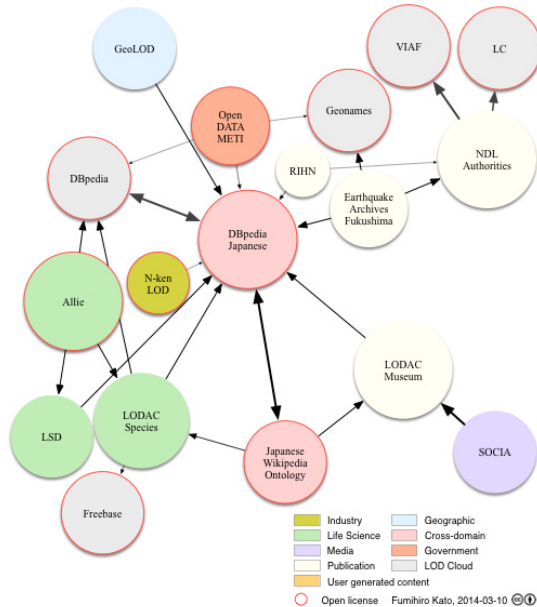


図 8 本家 Linked Data cloud diagram の条件を適用した日本語版 Linked Data cloud diagram (2014 年 3 月 10 日版) [13]

Fig.8 Japanese LOD cloud diagram (original criteria 10/3/2014).

より、正解リンク数の合計は 1465 まで増え、図 8 に示す、本家の LOD cloud diagram の条件を適用した日本語版 Linked Data cloud diagram に含まれるようになった。これは実験結果の客観的証拠として、ねじ LOD から DBpedia Japanese へのリンク数が増加したことを示している。

図 7 からわかるとおり、工業分野に関する日本語の LOD はねじ LOD のみであり、工業分野に関する国内の LOD 普及の余地が多く見られる。これは、国内の企業データのオープンデータ化が進んでいないことに起因すると考えられる。今後、工業分野に関する LOD が増加することで、ねじ LOD とのリンク付けが可能になり、新たなサービスの想像につながると考えられる。このサービスの有用性が認知されることが、企業データのオープンデータ化を促進させ、国内の工業分野の LOD の増加につながるだろう。

8. む す び

本論文では、LOD を知識として活用した BOM エージェントの実現に向けて、ねじ LOD の拡充手法について述べた。本論文で提案した手法を用いて、既存の手法より高い精度で DBpedia Japanese とリンク付け

された。その結果、ねじ LOD は DBpedia Japanese を介して間接的に多くの LOD とリンクし、LOD としての有用性が向上した。

また、企業サイトから商品情報をスクレイピングし、商品提供関係を構築した。現状では、ねじ・締結具に関する企業のサイト構造が様々であるため、商品情報を全てスクレイピングすることは困難である。今後はクロウラの質を改善し、商品提供関係の拡充を試みる。

今後工業製品の LOD が増加し、ねじ LOD がそれらの LOD や企業のもつデータとリンクすることで、BOM エージェントは更なる機能を提供することが可能になる。今後は、BOM エージェントにおける知識データベースの拡充、すなわち工業分野の他の LOD の構築に取り組む予定である。また、BOM エージェントの実用化に向けて、検索・推薦・自動化機能などの充実化を図る。

謝辞 本研究は、文部科学省科学研究費 26330349 基盤研究 (C) (代表 法政大学藤井章博) の助成を受けたものです。本研究を進めるにあたり、データを提供していただきました、大阪鋌螺卸商協同組合様に深く感謝致します。

文 献

- [1] 江上周作, 清水宏泰, 谷口祥太, 藤井章博, “ねじ LOD を基にしたマッシュアップアプリケーション,” 信学技報, AI2013-17, SC2013-11, Aug. 2013.
- [2] A. Fujii, S. Egami, and H. Shimizu, “EDI support with LOD,” Proc. Joint International Workshop: 2013 Linked Data in Practice Workshop (LDPW2013) and the First Workshop on Practical Application of Ontology for Semantic Data Engineering (PAOS2013), CEUR Workshop Proceedings, vol.1192, pp.27–32, Nov. 2013.
- [3] 松村冬子, 嘉村哲郎, 加藤文彦, 小林 巖, 高橋 徹, 上田 洋, 大向一輝, 武田英明, “LODAC Museum: Linked Open Data による博物館情報の統合と活用,” 人工知能学会第 26 回全国大会, 3C2-OS-13b-9, 2012.
- [4] F. Kato, H. Takeda, S. Koide, and I. Ohmukai, “Building DBpedia Japanese and Linked Data Cloud in Japanese,” Proc. Joint International Workshop: 2013 Linked Data in Practice Workshop (LDPW2013) and the First Workshop on Practical Application of Ontology for Semantic Data Engineering (PAOS2013), CEUR Workshop Proceedings, vol.1192, pp.1–11, Nov. 2013.
- [5] 玉川 奨, 森田武史, 山口高平, “日本語 Wikipedia からプロパティを備えたオントロジーの構築,” 人工知能学会論文誌, vol.26, no.4, pp.504–517, July 2011.
- [6] 下山紗代子, 西方公郎, 吉田有子, 豊田哲郎, “Link-Data.org を使った RDF 教育とデータ公開化運動の推

進,” 人工知能学会第 26 回全国大会, 2012.

- [7] 年岡晃一, 藤本 椋也, 安江翔平, 鈴木裕利, “RDF アプリケーション構築のためのフレームワーク SparqlEPCU — XML/RDF/オントロジーを使った知識の構築及び交換のシステム,” 情報科学リサーチジャーナル, vol.20, pp.3-14, March 2013.
- [8] M. Graube, J. Pfeffer, J. Ziegler, and L. Urbas, “Linked Data as integrating technology for industrial data,” 14th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS), pp.162-167, 2011.
- [9] C. Bizer and R. Cyganiak, “D2R Server — Publishing relational databases on the semantic Web,” In: Proceedings 5th International Semantic Web Conference (Poster), 2006.
- [10] M. Cheatham and P. Hitzler, “String similarity metrics for ontology alignment,” 12th International Semantic Web Conference (ISWC), pp.294-309, 2013.
- [11] K. Gunaratna, K. Thirunarayan, P. Jain, A. Sheth, and S. Wijeratne, “A statistical an scheme independent approach to identify equivalent properties on linked data,” 10th International Conference on Semantic Systems (I-SEMANTICS), pp.33-40, 2013.
- [12] “Office 2013 用アプリの概要” [http://technet.microsoft.com/ja-jp/library/jj219429\(v=office.15\).aspx](http://technet.microsoft.com/ja-jp/library/jj219429(v=office.15).aspx)
- [13] F. Kato, “日本語 Linked Data Cloud 図 2014-03-10 版” <http://linkedopendata.jp/?p=486>

(平成 26 年 8 月 27 日受付, 12 月 17 日再受付,
27 年 3 月 5 日早期公開)



江上 周作

2014 年法政大学理工学部応用情報工学科卒. 同年より電気通信大学大学院情報システム学研究科社会知能情報学専攻博士前期課程に在籍. セマンティック Web の研究に従事.



川村 隆浩

1994 年早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程了. 同年 (株) 東芝入社. 現在, 同社研究開発センター主任研究員. 2001-2002 年米国カーネギー・メロン大学ロボット工学研究所客員研究員兼任. 2003 年より電気通信大学大学院情報システム学研究科客員准教授兼任. 2007 年より大阪大学大学院工学研究科非常勤講師兼任. 工学博士 (早稲田大学). 主としてセマンティック Web, エージェント技術の研究・開発に従事. 2012-2013 年人工知能学会理事, 情報処理学会会員.



藤井 章博

1962 年岐阜県生まれ. 東北大学大学院工学研究科博士課程単位取得, 東京大学工学系大学院先端学際工学単位取得, 博士 (工学). 東北大学助手, 宮城大学助教授, 米国マサチューセッツ工科大学客員研究員, 文部科学省科学技術・学術政策研究所主任研究官を経て, 現在, 法政大学理工学部応用情報工学科教授, 科学技術・学術政策研究所客員研究員. 分散システムの設計と応用に関する研究・教育に従事.



大須賀昭彦 (正員: フェロー)

1958 年生. 1981 年上智大学理工学部数学科卒. 同年 (株) 東芝入社. 同社研究開発センター, ソフトウェア技術センター等に所属. 1985-1989 年 (財) 新世代コンピュータ技術開発機構 (ICOT) 出向. 2007 年より, 電気通信大学大学院情報システム学研究科教授. 2012 年より, 国立情報学研究所客員教授兼任. 工学博士 (早稲田大学). 主としてソフトウェアのためのフォーマルメソッド, エージェント技術の研究に従事. 1986 年度情報処理学会論文賞受賞. IEEE Computer Society Japan Chapter Chair, 人工知能学会理事, 日本ソフトウェア科学会理事を歴任. 情報処理学会, 電子情報通信学会, 人工知能学会, 日本ソフトウェア科学会, IEEE Computer Society 各会員.