建設施工段階の共通基盤プロトタイプの開発と協調領域の検討

清水建設株式会社	正会員	○松下　文哉	清水建設株式会社	正会員	宮岡　香苗
株式会社三菱総合研究所	正会員	宮﨑　文平	清水建設株式会社	正会員	小島　英郷
清水建設株式会社	正会員	延藤　遵	東京大学	フェロー会員	小澤　一雅

１．はじめに

国際的な開発競争環境の変化が激しい中で，企業や業界をまたぐ協調領域を設定し，業務プロセスの変革や研究開発投資の有効活用を進めることが求められている[1)]．一方，協調領域については，各企業が単独で取り組みを進める競争領域を鑑み，その範囲を設定する必要があり，関係者との十分な議論が求められる．

筆者らは，東京大学大学院工学系研究科「i-Construction システム学」寄付講座協調領域検討会[2)]および日本建設業連合会 協調領域 WG サブ WG[3)]（以下「サブ WG」）の活動の一環として，とくに施工段階のデータ・システム連携のための共通基盤を協調領域として構築することを検討している．公共工事の出来形検査をユースケースとし，情報共有基盤（R-CDE ; Reliable Common Data Environment）[4)5)6)]と API 連携基盤（ServiceHUB）を開発し，その試行を通して共通基盤の有用性確認と具備すべき機能を明らかにし，協調領域の範囲を検討することを目的としている．本稿では 2022 年度の取組みと得られた成果を報告する．

２．協調領域とは

協調領域は，建設産業だけでなく他産業においても，その取り組みが推進されており，議論の対象も技術的な観点に留まらず，標準化，運用組織の組成等，多種多様である．

製造業では，Industry4.0 において Reference Architecture Model I4.0（RAMI4.0）[7)8)]が検討され，産業内において標準化を推し進めるべき分野をマップに表している．この標準化は IEC（International Electrotechnical Commission）をはじめとしたオープンな場での国際標準化を基本としている[9)]．

また，国内の自動車産業においては協調領域を 10 分野に特定し検討を進めている[10)11)]．ここでは，各企業が単独で開発するにはリソース的，技術的に難しい内容を協調領域で補い，自動運転サービスの国際競争力強化を図っている[12)]．10 分野のうち，地図の分野では，地図を共用データと付加データに分類し，このうち共用データを協調領域[11)]として位置付けることによって，自動車会社各社が自動運転技術に必要な地図データを整備するコストを下げている．さらに，協調領域の地図情報を整備し，自動車メーカと地図製作会社で組織を立ち上げ，地図情報を自動車メーカに供給する取り組みも進められている[13)]．

次に，PC（Personal Computer）向けの OS（Operating System）の OSS（Open Source Software）の Linux ではソースコードがオープンになっており，Linux Foundation[14)]の管理のもと，この OS を民間企業のサービスに取り入れることが可能となっている．さらに，Linux では，不特定多数の個人が開発に関与可能な「バザール型開発」を取っており，その開発プロセス自体がオープンであることが特徴である[15)]．この開発プロセスを維持するために，ソースコードを管理するためのツール「Git」[16)]が開発され，関与する開発者のコミュニティが形成されている．さらに， OSS のソフトウェアライセンスとして GNU GPL（GNU General Public License）[17)]が開発され，誰でも OSS を自由に利用・改変・再配布できる環境も整備されている．

いずれの事例においても，協調領域を設定することでデータやシステムに利用者が便益を受ける仕組みが構築されている．協調領域として構築されている仕組みは，標準化（Industry4.0 の Reference Architecture），データ共有（ダイナミックマップ），システム（Linux），コミュニティ・ライセンス（Git，GNU GPL），組織（Linux Foundation）など多様であることがわかる．

キーワード　協調領域，共通基盤，i-Construction

連絡先　〒104-8370　東京都中央区京橋 2-16-1　TEL 070-4223-8381

３．検討体制

日建連内に設置された協調領域 WG 下に 3 つのサブ WG が設置されており（2023 年 8 月現在），また協調領域に関する議論は関係者と幅広い議論をすることが求められるため，各サブ WG では活動への賛同企業を募り議論の体制を構築している．本稿で報告する取組みは清水建設が幹事を務めるサブ WG2 についてである．サブ WG2 の活動へは賛同企業として，大手・中堅ゼネコン（11 社），ベンチャー（6 社），（ベンダー5 社），メーカ（3 社），シンクタンク（1 社）が参加している．

４．開発する共通基盤とサブ WG での実施事項

(1)サブ WG の活動目的

サブ WG では，初年度（2022 年度）の活動目的として，ⅰ）共通基盤の有用性の確認，ⅱ）将来の協調領域に求められるシステムの検討を設定し，協調領域の開発計画を立案することを目指した．有用性を確認するためには，ユースケースを設定しユーザーインターフェースも含めたプロトタイプを構築し現場試行することが求められる．このためサブ WG では，現場試行可能な共通基盤のプロトタイプを構築した．一方，このプロトタイプは有用性を評価するために業務で利活用可能なシステムとして構築されるため，協調領域としての共通基盤をどの範囲とするのが良いかは別途検討が必要である．

(2)開発するシステムの概要

開発するシステムは寄付講座にて筆者らが研究開発した「ブロックチェーンとスマートコントラクトを用いた公共工事の契約情報および出来形・出来高情報管理システム」[4]がベースとなっている．この研究では，ブロックチェーンを活用し受注者が収集したデータの信憑性を担保することにより臨場検査を省略可能とするとともに，スマートコントラクトを活用し契約条件や契約履行情報を管理することによって支払い手続きを合理化可能であることを示した．また品質や出来形の確認には，近年，様々なデバイスやアプリケーションが開発・活用されつつある一方，これらより得られるデータを連携し活用するために，その都度システム開発が求められ，改善が望まれている．このため，API 連携を容易に実現する共通基盤が求められている（**図-1**）．

サブ WG では，ユースケースとして土工事と山岳トンネルの出来形検査を対象に情報共有基盤（R-CDE）と RESTful API を用いた API 連携基盤（ServiceHUB）のプロトタイプを構築した．

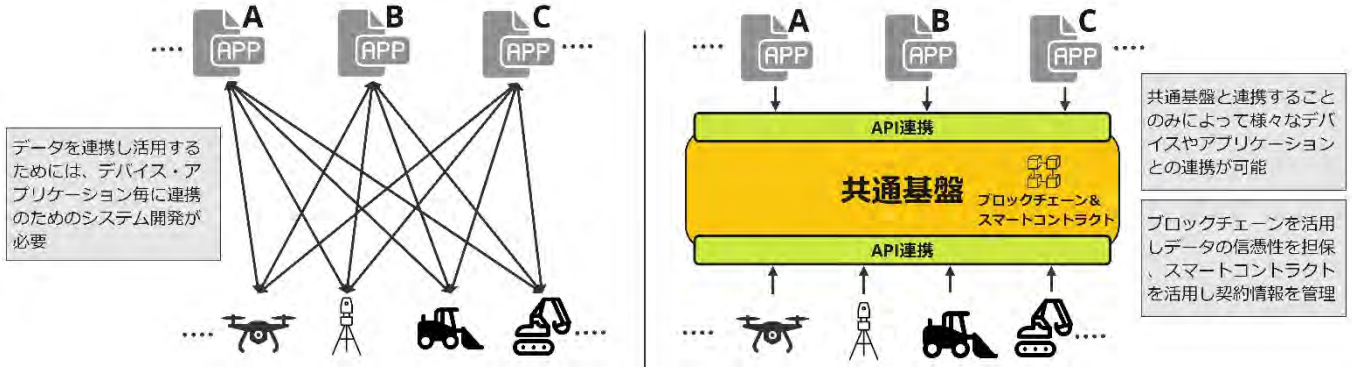


図-1　共通基盤の必要性（右：ある場合，左：ない場合）

(3)サブ WG での実施事項

共通基盤の有用性を検討するうえで，想定されるユーザー企業は R-CDE と ServiceHUB で異なる．R-CDE のユーザーは発注者や元請会社が，ServiceHUB のユーザーはアプリケーションやデバイスを通してサービスを提供するベンダーやベンチャーが想定される．ユーザー企業の違いにより検討する観点が異なるため，賛同企業を賛同者 A, B, C に大別した．R-CDE を利用し現場試行を実施する元請会社は賛同者 A に，ServiceHUB の利用を含むシステム間の連携を検討するベンダーやベンチャーなどは賛同者 B に分類した．また，現場試

行を希望する工種が ICT 土工と山岳トンネルが多かったため，ICT 土工の出来形管理，山岳トンネルの出来形管理を対象とし R-CDE プロトタイプを開発している．一方で，これ以外の工種への適応の検討を希望する賛同企業を賛同者 C に分類し，新規ユースケースへの適応の検討を進めた．

基盤の開発やこれらの企業に対して実施した事項を**図-2** に整理する．システムの試行では R-CDE のアカウントを付与し，R-CDE を用いた出来形管理の一連の流れについて賛同企業毎に試行を行った（**図-3**）．この試行に対し，アンケートおよびヒアリングを通じてフィードバックを得た．この結果の詳細を，次章に記載する．

ServiceHUB については，API 連携の技術検証を目的に，プロトタイプを用いた各社のサービスの連携試行を実施した結果，API 連携を問題なく実施可能であることを確認した．

また，サブ WG の賛同企業全体で集まり議論する場を 1 回/月設け，これ以外は個別に各社と議論し現場試行や API 連携を進めた．

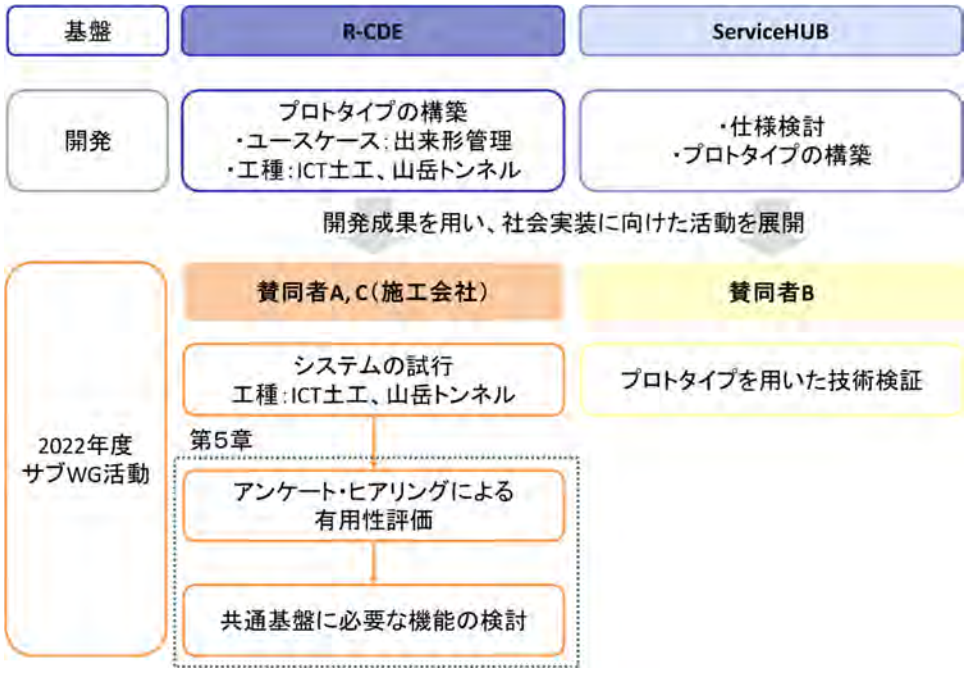


図-2　サブ WG 活動の位置づけ

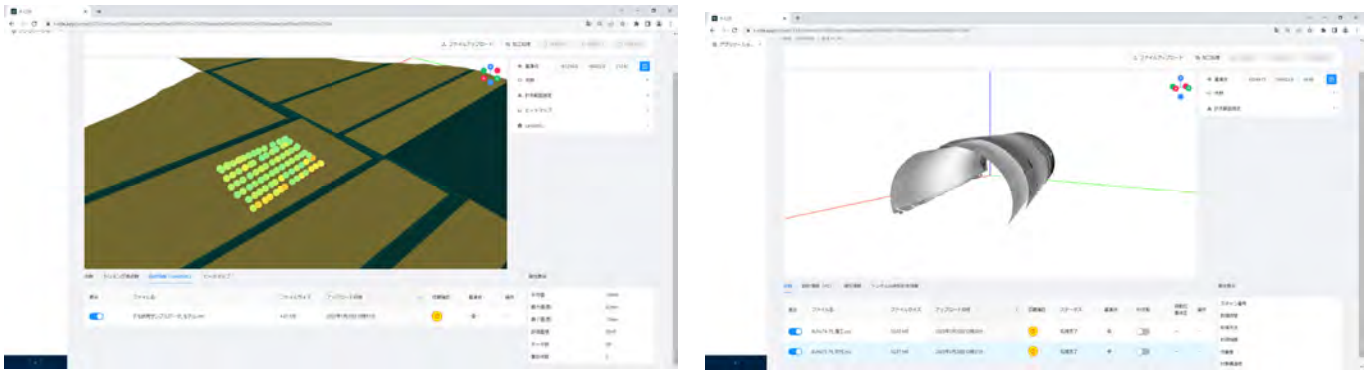


図-3　R-CDE のユーザーインターフェース例（土工事と山岳トンネル）

５．開発したシステムの試行結果の評価と検証

開発した共通基盤の社会実装を進める上では，様々な施工現場において複数の利用者に試行してもらい，各利用者のフィードバックを踏まえた改良・改善を重ねていく必要がある．サブ WG に所属する施工会社 10 社によるシステムの試行と有用性の検証を実施した．また，試行を通して施工段階の共通基盤に求められる機能についても検討を行った．

有用性の検証にあたっては，ISO/IEC 25010「利用時の品質モデル」[18]に基づく評価を実施した．ISO/IEC 25010 はシステム及びソフトウェアの品質の構造をモデル化し，それを構成する品質の観点（品質特性及び副品質特性）を，利用時の品質モデル及び製品品質モデルとして定義したものである．このうち「利用時の品質モデル」は，特定の利用者が特定の利用状況において，有効性，効率性，リスク回避性および満足性に関して特定の目標を達成するためのニーズを満たすために，製品又はシステムを利用できる度合いを表している．ISO/IEC 25010「利用時の品質モデル」に基づく評価・検証の枠組みに従って，本システムの評価・検証のポイントを整理した内容を**表-1** に示す．

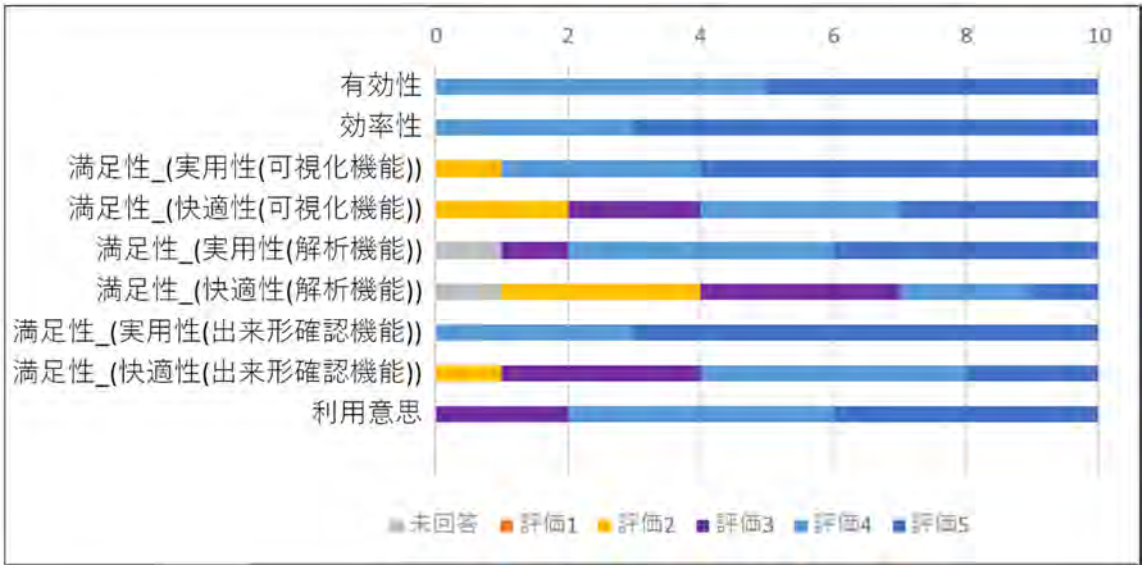
表-1　ISO/IEC 25010「利用時の品質モデル」と R-CDE の評価・検証のポイント

品質特性	副特性	評価・検証のポイント
有効性	有効性	R-CDE を利用することで，どの程度うまく，出来形管理に対するニーズを達成できたか
効率性	効率性	R-CDE を利用することで，業務資源（作業時間，要員及び資材等）の使い方がどの程度効率的であったか
満足性	実用性	R-CDE を利用した結果および利用の影響を含め，利用者はどの程度満足したか
	信用性	利用者が R-CDE を使うことによって，行いたいことが達成されるという確信をどの程度持つことができているか
	快感性	対象としない
	快適性	R-CDE が操作性上の快適性を提供できているか
リスク回避性	経済リスク緩和性	R-CDE を利用することにより顕在化する可能性がある経済的なリスク及びオペレーションリスクが低く抑えられているか
	健康・安全リスク緩和性	対象としない
利用状況網羅性	環境リスク緩和性	対象としない
	利用状況完全性	設計・構築時に想定した範囲では完全に，様々な状況の違い（適用工種，利用者環境等）に関わらず利用時の品質を提供できるか
	柔軟性	業務設計で想定していない状況でも，ある程度の状況の違いに関わらず利用時の品質を提供できるか

整理した評価・検証のポイントに基づき，サブ WG の賛同企業のうち施工会社 10 社に対してアンケートおよびアンケートの回答内容についての詳細ヒアリングを実施した．アンケートおよびヒアリングにおいては有効性や効率性および満足性に関する定量的評価のための 5 段階評価と定性的評価のための自由意見を求める質問を行った．また，リスク回避性や利用状況網羅性に関する定性的評価を行うため，システムを利用することに対する不安や懸念，より効果的に活用するための改善点等についての自由意見を求める質問を行った．さらに，協調領域としての範囲，対象とするユースケースについての意見やシステムの社会実装を想定した場

合に障壁（制度，ルール，使用環境等）となりうること及びその解決策に対する意見についても確認した．

有効性，効率性，満足性に対する 5 段階評価の結果を**図-4** に示す．有効性，効率性，各機能についての満足性（実用性・快適性）のほとんどの項目において，評価 4，評価 5 と高評価の回答が多くの割合を占めており，一定の有用性が確認された．一方で，リスク回避性，利用状況網羅性に対しては，発注者の理解（既存業務との関係性），システム・通信環境，バックアップ・フォローの体制，アップロード前のデータの改竄リスク等に対する不安や懸念，また点群アップロード，ノイズ除去，評価範囲設定，帳票作成等についての自動化やアップロードデータの整理・削除，データの重複時の優先判断等，追加機能に対する要望といった意見が多数抽出された．



※評価 5 が高評価

図-4　有用性の定量的評価の結果（有効性・効率性・満足性及び利用意思に対して）

今後のシステムの継続的な改良・改善につなげるため，抽出された課題や要望を対象となる機能や項目ごとに整理・分析し，計 185 の具体的な課題を特定した．これらの課題については本検証で開発したシステムを協調領域における施工段階の共通基盤として位置づけていく上で対応が必須な項目と，ノイズ除去や帳票の自動作成等，市場において民間による既存サービスが存在し，競争領域に該当する可能性が高い項目があることが確認された．本検討においてはこの抽出した具体的な課題を踏まえ，施工段階の共通基盤に求められる機能として，5 つの分類の観点を整理した．

1 点目に，「異なるプレイヤー間で情報共有するための機能」である．各プレイヤー内での情報共有については自社の環境・条件に適したサービスを選択し，自由に利用する形で問題ない．プレイヤー間の情報共有については，効率的に実施されることで業界全体の生産性向上に寄与するものである一方で，個社が単独で積極的に取り組むインセンティブが働きにくいため，協調領域として整備されることが望ましい．

2 点目に，「共通化されることで使いやすくなる機能」である．例えば既存の競争領域のサービスは，各社が独自の UI でシステム構築を図っているために，サービスごとに利用者側での学習コストが嵩んでいる状況である．こうした要素については協調領域として標準化・共通化を図ることで，ユーザビリティ（快適性・操作性等）を大幅に向上させることができる．

3 点目に，「共通化することで開発・利用コストを抑えることが可能な機能」である．既存の競争領域のサービスを見渡すと各社が類似する機能をそれぞれで開発しており，業界全体として非効率となっていると考えられる．こうした機能については協調領域としての基盤を用意することで開発コストを抑えられ，各社は自

社の強みとする分野に投資を集中し，更なるサービスの高度化が期待できる．

4 点目に，「競争領域のサービス拡張が容易となる機能」である．3 点目と関連する観点であるが，現状の競争領域のサービス提供者は，サービス拡張を行う場合に単独での開発が強いられる状況にある．他の競争領域のサービスと連携し，パッケージでの展開等が容易に出来るようになれば，ユーザーの利便性向上につながるものであり，こうした機能も協調領域として考えることが必要である．

5 点目に，「ユースケースに対して最低限のことが実現可能な機能」である．本検討で開発を目指しているのは，様々なユースケースに対応するための共通基盤であり，この基盤を活用して，建設生産システムの各段階の業務に適用できる様々なアプリケーションの市場への民間参入・投資が加速することが期待される．一方で，試行での利用者からのフィードバックを踏まえると基盤機能だけでは利用者側で採用することが難しく，個別のユースケースに対応した最低限（例：ファイルの状態管理機能やワークフロー機能等）の機能も有することで，導入が進んでいくものと考えられる．

本検討においてはこの 5 つの分類の観点に基づき，185 の具体的な課題を協調領域として扱う課題と競争領域として扱う課題とに区分し，今後の改良・改善計画を策定した．なお，本検討で整理した 5 つの分類の観点については WG の活動等を通して今後も精査していく考えである．

６．結論

協調領域検討会施工 WG におけるサブ WG2 の活動として 2022 年度は，寄付講座の研究成果をベースに共通基盤のプロトタイプとして R-CDE と ServiceHUB を開発し，現場試行や技術検証を行った．また，試行に対してアンケート調査を実施し，一定の有効性を確認することができた．さらに，協調領域に求められる機能を 5 つに分類するとともに，試行より特定された課題を協調領域として扱う課題と競争領域として扱う課題とに区分し整理した．

一方で，協調領域の範囲をどのように設定するかについては，別途，様々な観点での議論が求められる．さらに協調領域としての共通基盤のサービスや将来の展開方法などをロードマップとして整理するとともに，運用のための体制を検討する必要がある．

最後に、研究に協力して頂いたサブ WG2 への賛同企業の皆様及び関係者にはこの場を借りて深く御礼申し上げる。

参考文献

1) 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局：次期戦略的イノベーション創造プログラム（次期 SIP）の課題設定に向けて～次期 SIP の基本的な枠組み～, p.3, 2022 年, < https://www8.cao.go.jp/cstp/stmain/pdf/220401sip_pd2.pdf>（入手 2023.6.19）
2) 小澤一雅: 協調領域検討会活動概要, p2, 2023 年, <https://drive.google.com/file/d/1uCllV9wp4eEbNTBU8i74bLFbtiQeseLB/view>（入手 2023.6.19）
3) 一般社団法人日本建設業連合会 : 施工段階における協調領域の取組みについて（日本建設業連合会　協調領域 WG）, p4, 2023 年, <https://drive.google.com/file/d/1pQ3KsYqYwEt19gDDZySHyjoqKFiS9igw/view>（入手 2023.6.19）
4) 松下文哉，小澤一雅：施工管理情報の非改竄性を担保するブロックチェーンを用いた出来形検査システム，土木学会論文集 F4（建設マネジメント），77 巻 1 号，pp. 1-11，2021.
5) 松下文哉，小澤一雅 : ブロックチェーンを用いた出来形検査効率化のための情報共有システム，第 3 回 i-Construction 推進に関するシンポジウム，2021.
6) 松下文哉, 小澤一雅 : データ・システム連携基盤を考慮した切盛土工事のための施工管理システムの開発, 第 4 回 i-Construction 推進に関するシンポジウム，2022.
7) Nardello, M., Møller, C., & Gøtze, J.: Organizational learning supported by reference architecture models: Industry 4.0 laboratory study, Complex Systems Informatics and Modeling Quarterly, (12), pp.22-38, 2017.
8) Sharpe, R., Van Lopik, K., Neal, A., Goodall, P., Conway, P. P., & West, A. A.: An industrial evaluation of an Industry 4.0 reference architecture demonstrating the need for the inclusion of security and human components, Computers in industry, 108, pp.37-44, 2019.

9) 中坊嘉宏：Industrie4.0 をとりまく競争領域・協調領域を考える~ I4.0, IoT は何を自動化するか~，計測と制御，54(12)，pp.912-917，2015.
10) 経済産業省：自動走行の実現及び普及に向けた取組報告と方針，自動走行ビジネス検討会，p.69，2021.
11) 高田広章，佐藤健哉：ダイナミックマップ―自動走行/協調運転支援のための情報プラットフォーム，システム/制御/情報，60(11)，pp.457-462，2016.
12) 南方真人：ダイナミックマップと交通環境情報構築の取り組み，SIP-adus Workshop 2020，2020，<https://www.sip-adus.go.jp/evt/workshop2020/file/sr/SR_04J_Minakata.pdf>（入手 2023.6.19）
13) ダイナミックマッププラットフォーム株式会社：<https://www.dynamic-maps.co.jp/>（入手 2023.6.19）
14) Linux Foundation：<https://www.linuxfoundation.jp>（入手 2023.6.19）
15) 吉岡弘隆：OSS の進化―コミュニティ開発がもたらすもの―，情報処理，vol.56 no.3，2015.
16) Git：<https://github.co.jp/>（入手 2023.6.19）
17) GNU GPL：<https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.en.html>（入手 2023.6.19）
18) ISO/IEC 25010:2011：システム及びソフトウェア工学－システム及びソフトウェア品質要求事項及び評価(SQuaRE)－システム及びソフトウェア品質モデル（Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - System and software quality models）