

ブロックチェーンを活用したトレーサビリティ、 ライフサイクルアセスメントに向けた取り組み

Traceability and Life Cycle Assessment by Blockchain Technology

岡部 達哉
Tatsuya OKABE

徐 昕
Xin XU

村上 貴一
Takakazu MURAKAMI

ヤウエン ファン
Yawen HUANG

柴田 大輔
Daisuke SHIBATA

Since the release of EU battery regulation by the European Commission on 10th December 2020, traceability technology has become a global hot topic. Many institutes and companies are competing to have their platforms recognized as the standard. Although EU battery regulation directly affects only products with batteries, this competition is expanding to product passports and their life cycle assessment. The manufacturing industry in particular is responding to this trend by first visualizing the traceability of its products. DENSO has been researching (developing) the traceability and protection of mobility data using blockchain and QR codes since September 2017. This report explains our activities.

Key words :

Blockchain, Traceability, QR Code, Data Exchange, Regulation

1. はじめに

昨今、トレーサビリティ、カーボンフットプリント、デューデリジェンス、リサイクル、データ交換基盤という言葉が各国や多くの企業内で語られるようになっている。また、それらに対応できる技術や標準をどこが作るのか、どこが主導するのか等の全世界的な動きが活発になっている。そのきっかけの一つが、欧州電池規則 (EU Battery Regulation)¹⁾、そして欧州 (特にドイツ) が提案をしている Gaia-X²⁾、Catena-X³⁾ と呼ばれる取り組みであると考えられる。

欧州電池規則は欧州委員会から 2020 年 12 月 10 日に発表され、2024 年から段階的に施行される模様であり、規則を満足できない電池を搭載した製品の欧州域内への持込みや販売を制限する可能性がある厳しい規則である。この欧州電池規則発表後、アメリカや中国

を中心に追従する動きが出始め、アメリカは IRA (インフレ抑制) 法案に EV バッテリーのリサイクル要件を追加、また EV 先進国である中国も政府を中心に EV バッテリーのトレーサビリティ管理システムの構築を急いでいる。また、インドでは全ての電池製品に対する廃棄規制が 2022 年 8 月 24 日に即日適用となり、インドで電池搭載製品を販売する企業を中心に対応に追われている状況である⁴⁾。一方で、トレーサビリティに重要となる企業間のデータ交換に関しても、欧州は活動を活発化させており、データ交換基盤の Gaia-X、そしてその自動車版である Catena-X を中心にそれらを全世界に広げようと技術開発だけではなく、標準化やロビー活動も行っている。この Gaia-X の動きに関しては、自動車および関連領域だけにとどまらず、半導体、マテリアル、繊維、家電、航空機などの領域にも大きな影響が出始めており、各国の製造領域における経済安

全保障問題にまでエスカレーションしつつある。

一方、日本でも経済産業省や国土交通省を中心に取り組みが始まっている。2021 年 4 月には電池サプライチェーンに取り組む団体 BASC (Battery Association for Supply Chain) が立ち上がり、電池データを扱う日本版のデジタルスキーム構想をホワイトペーパーとして発表するなど業界に先駆けた活動が行われている⁵⁾。さらには、自動車工業会 (Japan Automobile Manufacturers Association) でも、欧州規制への対応を検討するワーキング活動が始まっている。

省庁関連では、経済産業省自動車課を中心に GIO (低炭素投資促進機構) から公募事業「無人自動運転等の CASE 対応に向けた実証・支援事業費補助金」が始まり、デンソー・NTT グループ連合および富士通、野村総研が採択され⁶⁾、経済産業省を中心に BASC や JAMA など業界団体を巻き込んだ官民連携でデータ交換基盤の構築に向けた活動を進めており、欧州の Catena-X との相互接続も想定している。そして、経済産業省とデジタル庁は Society5.0 の実現に向け「企業間取引将来ビジョン検討会」を 2022 年 11 月から開始し、電池～自動車の枠を超えた産業全体のデータ流通の在り方についての議論がなされており、これは欧州の Gaia-X を意識した動きである。さらには、国土交通省は国連自動車基準調和世界フォーラム (WP29) でグローバルな自動車 LCA 評価方法について提案し、Well to Wheel (燃料から走行) までのトレーサビリティを行おうとしており、製造、リサイクル領域だけではなく、使用時のトレースまでを含むライフサイクルアセスメント (LCA) への取り組みを行うと発表し、活動を開始している。

デンソーはこれらトレーサビリティへの対応ニーズの高まりに応えるため 2022 年 10 月 13 日に【電動車向けバッテリーに関する業界横断エコシステムの構築】を NTT データと共同で進めることを発表した¹⁹⁾。このエコシステムで活用されるデータ交換基盤は、電動車向けバッテリーにとどまらず、将来的にさまざまな産業における企業間でセキュアにデータを活用できる次世代の情報インフラを目指すものであり、それには各企業の秘匿データを保護しつつ必要なデータのみ相互流通できるセキュアな技術が不可欠となる。我々は 2017 年 9 月からブロックチェーンを使ったトレー

サビリティシステムと車両からリアルタイムにデータを取得する車載ブロックチェーン等の開発を行ってきた。トレーサビリティシステムでは、デンソーが 1994 年に開発した QR コードとブロックチェーン技術を融合しながら、4 つのコア技術 (①特殊 QR コード、②ユニーク ID、③ハッシュ化アプリ、④ブロックチェーン) を活用しながら、トレーサビリティシステムの技術提案を行っている。また車載ブロックチェーンでは、独自のブロックチェーン技術を開発し ECU (Electronic Control Unit) への車載化を行っている。これらの技術により車載データ、特に CAN (Controller Area Network) のデータをすぐに収集し、改ざんが出来ない形で活用する技術の提案を行っている。

QR コード技術および車載ブロックチェーン技術は、本テクニカルレビューの別論文で詳細を報告しているので、本論文では、我々の取り組みの全体像とトレーサビリティシステムの説明を行う⁷⁾⁸⁾。本論文では、2 章で世の中の流れ、特に欧州電池規制に関する説明およびアメリカを中心として活動をしている MOBI (Mobility Open Blockchain Initiative) の説明を行う。それらを踏まえて、3 章では我々の取り組みの全体像を紹介する。また、4 章ではブロックチェーンと QR コードを使ったトレーサビリティシステムの説明を行い、最後に結言を述べる。

2. 世の中の流れ

本章では、トレーサビリティやデータ交換基盤が盛り上がるきっかけとなった欧州電池規則、Catena-X の概要を説明し、その後にアメリカで活動を行う MOBI (Mobility Open Blockchain Initiative) の説明を行う。

2.1 欧州電池規則¹⁾

2020 年 12 月 10 日に欧州委員会から発表のあった欧州電池規則では、あらゆる種類の電池を対象に、製品設計から生産プロセス、そしてリサイクルに至るまでの全ての電池のライフサイクルに対して規制をするものである。これは 2019 年に発表となった政策方針である「欧州グリーンディール」に端を発しており、温室効果ガス (GHG) を 2030 年までに 55%、2050 年ま

でカーボンニュートラルを達成しようという規制が基本となり、さらにはそれらの具体的な政策パッケージである「Fit for 55」を電池の個別政策化したものである。発表当時は、2kWh以上の電池を搭載した製品を全て対象にするものとして、2024年7月から段階的に施行されるものであった。しかし、その後のEU委員会、EU議会、EU閣僚理事会などでの議論を通じて、2kWh以上の制限の撤廃などが議論されており、自動車業界への影響が非常に大きい厳しい規制となりつつある。

欧州電池規則は、13章建てのArticle 1～79とAnnex 1～14で構成される。各種説明資料に詳細は紹介されているが、代表的な項目および遵守期限をTable 1に示す。また、各章の概要とArticleとの関係はTable 2に示す通りである。Table 1からも分かるように段階的に欧州電池規則は施行がされるが、非常に期間が短く、チャレンジングな規則である。

Table 1 Deadline in EU Battery Regulation related to EV battery and automotive battery

Article	Contents	Timeline
7	Carbon Footprint Déclaration	1 st , Jul., 2024
7	Performance Classes	1 st , Jan., 2026
7	Maximum life cycle carbon footprint thresholds	1 st , Jul., 2027
8	Internal storage that contain cobalt, lead, lithium or nickel in active materials	1 st , Jan., 2027
8	Minimum share of recovered cobalt, lead, lithium or nickel Co: 12%, Pb: 85%, Li: 4%, Ni: 4%	1 st , Jan., 2030
8	Minimum share of recovered cobalt, lead, lithium or nickel Co: 20%, Pb: 85%, Li: 10%, Ni: 12%	1 st , Jan., 2035
10	Minimum values which the commission shall be empowered to adopt by delegated act	1 st , Jan., 2026
13	Label in a visible, legible and indelible manner	1 st , Jan., 2027
64,65	Electronic exchange system & Battery passport	1 st , Jan., 2026

Table 2 Contents of chapters and annexes in EU battery regulation

Chapter	Contents	Articles	Annex
1	General provisions	1 – 5	
2	Sustainability and safety requirements	6 – 12	1 – 5
3	Labelling and information requirements	13, 14	6, 7
4	Conformity of batteries	15 – 20	8, 9
5	Notification of conformity assessment bodies	21 – 37	
6	Obligations of economic operators other than the obligations in Chapter 7	38 – 45	10
7	End-of-life management of batteries	46 – 63	11, 12
8	Electronic exchange of information	64, 65	13
9	Union market surveillance, control of batteries entering the Union market and Union safeguard procedures	66 – 69	
10	Green public procurement, procedure for amending restrictions on hazardous substances and Commission recognition of supply chain due diligence schemes	70 – 72	14
11	Delegated powers and committee procedure	73, 74	
12	Amendments	75	
13	Final provisions	76 – 79	

注) 本稿に記載の規制情報は2022年11月時点のものであり、今後変更の可能性有。

2.2 Catena-X³⁾

自動車のバリューチェーン全体でデータを共有する為のアライアンスが、ドイツを中心にCatena-Xとして2021年3月に設立された。Catena-XはFig. 1に示すように各社でのデータを交換する為の基盤として提供されている。EDC (Eclipse Dataspace Connector) というデータ交換用のコネクタを活用して、データ交換を行う。EDCからはデータのメタデータをCatena-Xに送る形となっており、データ交換をスムーズに行う基盤となっている。

Catena-Xには、2022年10月28日段階で、Table 3に示す企業が参加している。Table 3でアンダーバーが引かれているのが、ドイツに本社を置く会社であり、Catena-Xがドイツ政府から資金援助を受けていることを考えると自然な流れではあるが、ドイツ主導の活動となっている。

Catena-Xでは、10のユースケースを検討しており(① CO₂/ESG monitoring, ② Circular economy, ③ Demand/capacity management, ④ Online control/simulation, ⑤ MaaS, ⑥ Modular production, ⑦ Live quality loops, ⑧ Behavior digital twin, ⑨ Traceability, ⑩ Business partner management)、トレーサビリティやデータ交換基盤の世界的な取り組みに密接に関連することが分かる。

自動車のバリューチェーンは国を跨ぐことから、Catena-Xは独以外の国と連携する活動も進めている。

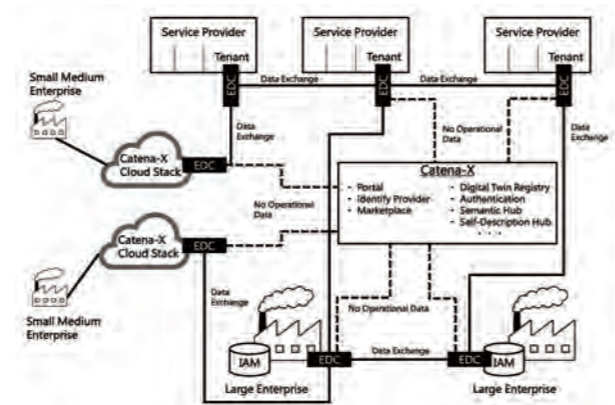


Fig. 1 Overall architecture of Catena-X (Modified by authors from the original figure)

Table 3 Participants of Catena-X (Headquarters of underlined companies locate in Germany)

Type	Companies
Consortium (28)	<u>ADAC</u> , <u>ARENA2036</u> , <u>BASE</u> , <u>BMW</u> , <u>ISTOS</u> , <u>LRP-Autorecycling</u> , <u>Mercedes-Benz</u> , <u>BigchainDB</u> , <u>CCT Coating Systems</u> , <u>DLR</u> , <u>fetch.ai</u> , <u>mipart</u> , <u>BOSCH</u> , <u>Microsoft</u> , <u>Fraunhofer</u> , <u>German Edge Cloud</u> , <u>GRIS Group</u> , <u>HENKEL</u> , <u>SIEMENS</u> , <u>Deutsche Telekom</u> , <u>Supplyon</u> , <u>tec4U</u> , <u>TRUMPF</u> , <u>VOLKSWAGEN</u> , <u>ZF Group</u> , <u>up2parts</u> , <u>SCHAEFFLER</u> , <u>SAP</u>
Association	<u>alliaife</u> , <u>APHERIS</u> , <u>APLUKO</u> , <u>ARKUM</u> , <u>AsahiKASEI</u> , <u>VDA</u> , <u>AAJ</u> , <u>BRAIN of MATERIALS</u> , <u>Capgemini</u> , <u>CDQ</u> , <u>CIRCULARISE</u> , <u>circunomics</u> , <u>WITTE Automotive</u> , <u>VMware</u> , <u>dcs</u> , <u>Deloitte</u> , <u>DENSO</u> , <u>Continental</u> , <u>HANSELMANN</u> , <u>HELIOT EUROPE</u> , <u>K.a.p.u.t.c.</u> , <u>23 Technologies</u> , <u>hp</u> , <u>VOLVO</u> , <u>IAV</u> , <u>ILI.DIGITAL</u> , <u>iPoint</u> , <u>Itemis</u> , <u>AtoS</u> , <u>Draexlmaier</u> , <u>sem engineering methods</u> , <u>Ford</u> , <u>CGI</u> , <u>MAGNA</u> , <u>Scheer</u> , <u>ownCloud</u> , <u>SSC</u> , <u>Valeo</u> , <u>thyssenkrupp</u> , <u>tributech</u> , <u>STELLANTIS</u> , <u>Fagor Ederlan Group</u> , <u>IBM</u> , <u>HELLA</u> , <u>brembo</u>

2.3 MOBI⁹⁾

スマートモビリティにおけるブロックチェーン導入の為の業界標準を作成、推進する為に、2018年5月2日にChris Ballinger氏を中心に立ち上げられた。2022年11月14日段階で、Table 4に示すように133社(団体)が参加をしている。MOBIでは、Fig. 2に示すような取り組みが行われている。現在6つのワーキングが活動をしており、ユースケースの検討、標準化案などの作成が行われている。Vehicle Identity ワーキンググループでは車両IDに関する仕様検討、Electric Vehicle Grid Integration ワーキンググループではスマートグリッドに関する仕様検討、Insurance ワーキンググループでは車両データを用いた保険に関する仕様検討、Connected Mobility Data Marketplace ワーキンググループでは車両データ活用に関する仕様検討、Supply Chain ワーキンググループでは名前の通りサプライチェーンに関する仕様検討、Finance Securitization and Smart Contracts ワーキンググループではファイナンス領域のセキュリティーとスマートコントラクトに関する仕様検討を行っている。また、Vehicle Identity ワーキンググループと Electric Vehicle Grid Integration ワーキンググループをまとめる形で Project DRIVES がスマートグリッドと車両IDを結び付けたプロジェクトの推進、さらに全てをまとめた形として MaaS (Mobility as a Service) を目指す mobiNet のプロジェクトが推進されている。そして、mobiNetはネットワーク技術の標準化団体 MEF などとも連携しながら ITN (Integrated Trust Network) という形に進化を遂げている。コロナの影響で実施が遅れているが、さらなる拡張として CITOPIA と呼ばれるスマートシティの検討まで行われている。

デンソーはMOBI発足時の初期メンバーとして、多くのワーキンググループで活動をしており、標準化に向けた活動の推進もMOBIと共に進んでいる。

Table 4 Participants of MOBI (as of 14th, November, 2022)

Participants
AAS, Accenture, Achma, Aici Hisay Dowa Insurance Services, Altaventre, Amazon Web Services, Anytzu, Ansum, ASIade Technology, Aucnet, Autocata Solutions, Bilalab, B2S Plans, Blockchain Acceleration Foundation, Bioledge, bioXmove, BMW, Bosch, Botish association, Cactango, Care7, cardosise, CarQ, CBAN, Cecebi AI, CEVT, CHAMPPILES, China Academy of Transportation Sciences, Chorus Mobility, Christoph Knechtle GmbH, Cognizant Technology Solutions, Conterova, Continental AG, Crypto Valley Association, Cyber Physical Chain Foundation Ltd., Dane, Daw Foundation, DENSO, DLT Labs, DMI, Enterprise Ethereum Alliance, European Commission, Faraday Future, Fetch AI, Ford, Fundación Fernando Pombal, FutureMove Automotive Co. Ltd., Gemial Motors, Groupe Renault, Henshin Group Ltd., Hitachi, Holman Strategic Ventures, Honda, Hyperledger, Hyundai, IBM, Information Technologies Institute, IEEE, ICTA, InTia, IRIS IDENT, ITOCHU, JM Family, K&N Auction Services Inc., Kauia, Klaytn Foundation, Loopring, Luuoft, Marell, Mazda, MEF, NAIST, Netel Technologies, Nissae, Noblis Inc., Nomsok, NuCypher, Ocean Protocol, Ohme Technologies Limited, On The Road Lending, Oregon Department of Transportation, Orico, ParkMyPest, peap, P&G, Politecnico Di Torino, Pool Foundation, Praxio LLC, Quant Network Ltd., Quantstamp, Quorum Control GmbH, R3 LLC, Reply, Riddle & Code, Ripple, RouteOne LLC, SAE, SBDrive Corp, Seed Vault Ltd., SEMI, Sherriff, Smart Cities Innovation Lab, Southeast Toyota Finance, Sovrin Foundation, Spring Free EV, Smart Energy, State Farm, Stellantis, Stork, Streamer Network AI, SunSpec Alliance, Swedish Blockchain Association, Swiss RL, Synchab, Texas A&M Transportation Institute, Tezos Foundation, The RHPD, The Institute, The Trusted IoT Alliance, Thredrive, Toyota Industries, Tribe Accelerator, University of Ontario Institute of Technology, University of Urbino, USAA, USC, Viberi Center for Cyber-Physical Systems, Vestella, Virturus, Vitesco Technologies, World Economic Forum, Xapix, ZF Car eWallet GmbH, ZF Group

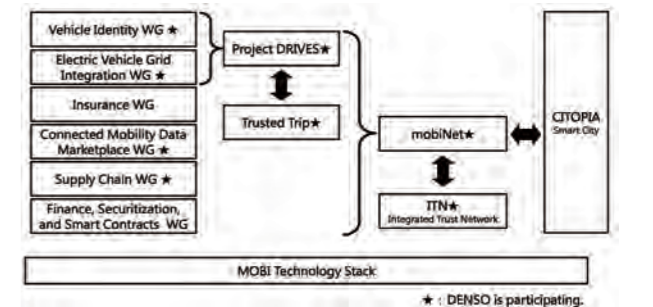


Fig. 2 Overall activities in MOBI

3. トレーサビリティ、データ交換基盤への取り組みの全体像

デンソーでは、2017年から車載ブロックチェーンの開発を開始し、現在では車載ブロックチェーン以外にもトレーサビリティシステムの開発、特殊QRコードの開発も行っている¹⁰⁾¹¹⁾。さらには、Catena-XやMOBIの技術調査、省庁案件の受託などを通じて標準化の取り組みを行っている。2017年の研究開発開始時に、下記のような社会課題を解決できないかと考えてスタートした。

トレーサビリティ領域では、違法なレアメタルの排除という世の中のニーズを踏まえて、子供の強制労働などが入り込まないようなトレーサビリティ技術の構築を目指した。また、日々メディアを賑やかしていた商品・製品偽造の検出が出来る技術構築としてトレーサビリティに注目をしている。近年では欧州電池規

則や HACCP (Hazard Analysis Critical Control Point) 等の法制化に対応できる技術の構築も目指していた。

一方で、車載ブロックチェーン（データ管理）では、個人間契約のスマートコントラクト化による透明性の確保、車の使用履歴や運転履歴に応じた保険サービスのデータ改ざん防止、EV時代の国道などの通過時におけるマイクロペイメントの実現を目指して開発を行っていた。

Fig. 3 が我々が実現したい技術の全体像であり、車載データを守る Mobility Blockchain, 企業間でデータサービスを行う為に Consortium-type Blockchain, その基盤となるトレーサビリティを車載化のノウハウや QR コードのノウハウを活用しながら、お客様に高いレベルの技術を早くに、しかも使い勝手が良い形で提供することが我々の目標である。その為に必要な技術は大きく分けて、①企業間ブロックチェーン・データ交換基盤、②車両データ用ハードウェア、③個体管理用 ID、④トレーサビリティ技術である。

本テクニカルレビューでは、①と②、③を別の2報の論文として紹介をしている為、本論文の残りは主に④のトレーサビリティ技術の紹介を行う⁷⁾⁸⁾。

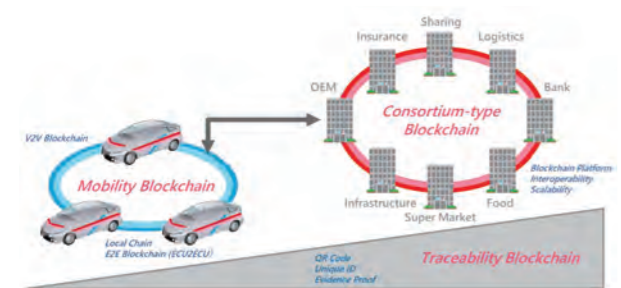


Fig. 3 Our target to be realized using blockchain technology

4. ブロックチェーンを活用したトレーサビリティ

4.1 トレーサビリティシステムによって実現をしたい価値

製品や商品の購入時や消費時に、それらの原材料、素性、加工方法、加工日時、添加物の有無などが気になるケースは、日常生活では多々あるのではと考えている。そこで、それらの方々に製品や商品のトレーサビリティ情報を提供できれば、製品や商品を安心して

購入し、使用や消費ができると考えた。究極の姿は、主婦の方やお子様の商品を購入する時に、ご自身でトレーサビリティを確認しながら購入するか、しないかを判断している姿である。ただし、ここで大きな課題がある。それは、トレーサビリティ情報を見られる機会があるのは良いと思われるが、その為に特別なデバイスを購入することはないだろうとの点である。そこで、トレーサビリティの情報を得る為に多くの方が持っているスマートフォンを活用することを考えた。スマートフォンを活用する場合、情報にアクセスする際に最も一般的な方法が QR コードの活用である。そこで、QR コードを使って、トレーサビリティ情報にアクセスできる仕組みを考えた。具体的なイメージを Fig. 4 を示しながら紹介を行う。

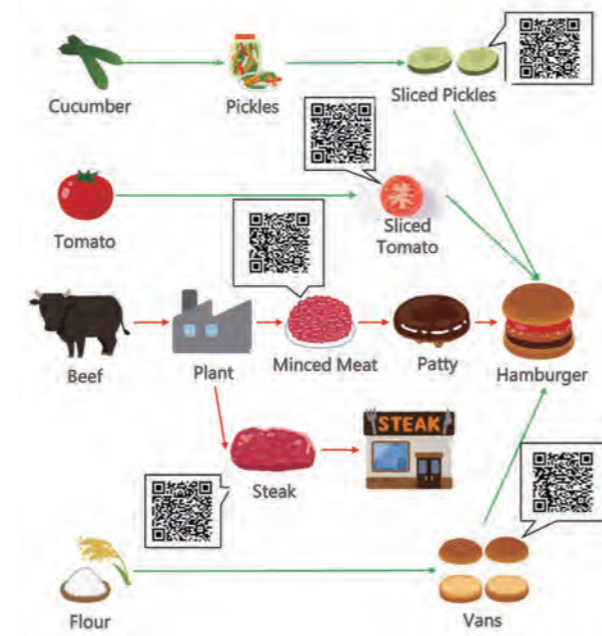


Fig. 4 Image of traceability. An example is the situation when we will buy and eat a hamburger

Fig. 4 の右中心にあるハンバーガーの購入を考える。ハンバーガーは色々な食材から作られており、ピクルス、トマト、パテ、パンズ等が一例である。そして、そのピクルス、トマト、パテ、パンズの生産に至るまでも農家、輸送、加工工場などを経ている。我々の目指すトレーサビリティは、ハンバーガーの包み等に添付された QR コードを読み取り、そこから全てのトレーサビリティ情報を示すことである。

しかし、トレーサビリティ技術を構築する上で、何

点か技術的に解決することが必要となる。それは、①トレーサビリティデータの改ざん防止をどのように図るか、②複雑かつ多層になったサプライチェーンの情報を如何に ID となる QR コードに入れるか、紐づけるか、③各企業が秘匿としたいデータを如何にトレーサビリティ情報の中に入れるか、④情報とモノの一致を如何に図るか、⑤既に存在するシステムに如何に容易にトレーサビリティの仕組みを入れるか等である。

それらについて、我々は完全な解ではないが、一定の解決方法に至っているので順に説明を行う。

4.2 トレーサビリティデータの改ざん防止をどのように図るか

新聞上でたまに見ることがあるが、食料品などの産地偽装、原材料の改ざん、賞味期限の改ざん等、サプライチェーンの関係者によるデータ改ざんが、最も技術的に課題となり、それらを如何に守るかが重要となる。サプライチェーンの関係者によるデータ改ざんは大きく分けて、サプライチェーンの必要なデータをそもそも改ざんして記載をするケース、データ入力後に不都合なデータを改ざんしてしまうケースの2つがある。

前者の元から改ざんされたデータを入力されてしまうケースは、改ざんを防ぐのは非常に困難である。しかし、ある程度の防御も可能で、作業時の静止画や動画を撮影時間や撮影場所の GPS 情報と共にブロックチェーンに入れてしまうエビデンス生成や、データ発生源ですぐにブロックチェーンに入れてしまうローカルチェーン（車載ネットワークの場合）などの方法が考えられる。また、データをブロックチェーンに入れてしまう為に、後日に不正確なデータが発見されてしまうと「そのようなデータを入れた覚えはない」という言い訳が付かなくなる為にある程度の牽制も可能となる。これらは、本テクニカルレビューの別論文で詳細を説明している為に概要のみとする⁷⁾⁸⁾。

続いて、後者のデータ入力後に不都合なデータを改ざんしてしまうケースであるが、これらはブロックチェーンによって改ざんを防止可能である¹¹⁾。ブロックチェーンは、著者らが2019年に発表したデンソーテクニカルレビューに説明があるので、興味のある方はそちらを参照頂きたい¹⁰⁾。

4.3 複雑かつ多層になったサプライチェーンの情報を如何に ID となる QR コードに入れるか、紐づけるか

1994年に開発された QR コードは、最も小さいバージョン1から最も大きいバージョン40まで定義されている。Table 5 に入力可能文字数の一例を示す¹²⁾。Table 5 の中に記載がある誤り訂正レベルには、L, M, Q, H があるが、これは QR コードの一部が欠損や汚損した場合にでもリードソロモン符号により補正ができるレベルを示しており、L では7%、M では15%、Q では25%、H では30%の欠損や汚損に対して補正が可能となる¹³⁾。

また、Fig. 5 に、バージョン1,10,20,30のQRコードの例を示す。バージョン40までを使えば、多くの文字数を入れることが可能となるが、一方で製品用のラベルに印刷できる QR コードは場所が限られている点と製造が進むにつれて QR コードのバージョンが徐々に大きくなっていくことは読み込み時に問題が生じやすくなる点で好ましくない。

そこで、ブロックチェーンとの相性も考えて、全てのトレーサビリティデータのマークルルートから計算されるハッシュ値 (SHA-256) を入れて、桁数を常に16進数64桁にするようにした。これらにより、常にサーバーに QR コード上のハッシュ値をベースにデータを問い合わせる形とはなるが、常に桁数を統一化されるようにした¹⁴⁾。

Table 5 Capacity of QR code

Version	Correction Level	Capacity			
		Number	Alphanumeric	8 bit byte	Chinese Character
1	L	41	25	17	10
	M	34	20	14	8
	Q	27	16	11	7
	H	17	10	7	4
10	L	652	395	271	167
	M	513	311	213	131
	Q	364	221	151	93
	H	288	174	119	74
20	L	2,061	1,249	858	528
	M	1,600	970	666	410
	Q	1,159	702	482	297
	H	919	557	382	235
30	L	4,158	2,520	1,732	1,068
	M	3,288	1,984	1,370	843
	Q	2,358	1,429	982	604
	H	1,782	1,080	742	457
40	L	7,089	4,296	2,953	1,817
	M	5,596	3,391	2,331	1,435
	Q	3,993	2,420	1,663	1,026
	H	3,057	1,852	1,273	784

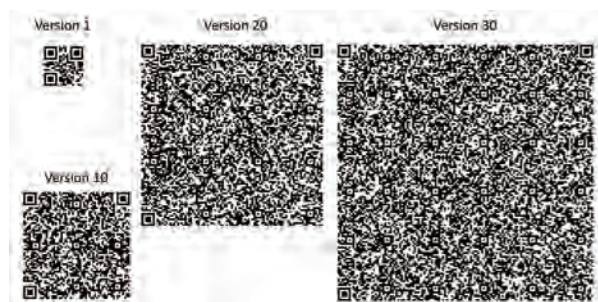


Fig. 5 Examples of QR codes with different versions. All QR codes were generated by <http://www.cman.jp>. Correction level is set as "H"

4.4 各企業が秘匿したいデータを如何にトレーサビリティ情報の中に入れるか

各国、各団体で検討をされているトレーサビリティに載せる必要があるデータを大まかにまとめると、デュレリジェンス、カーボンフットプリント、リサイクル率などがある。しかし、これらの情報は、同業者が見るとある程度の材料構成、製造方法などの推測が可能となる為、例えセキュリティーが万全なサーバーであったとしても、社外にデータを持ち出すのを嫌がられるケースが多い。ただ、それらを各企業の個別のサーバーに置いたままではデータの変更が容易であり、必要に応じてデータを開示したとしても、その信憑性を証明するのは非常に困難である。そこで、Fig. 6 のように生のデータは各社のサーバーに保管し、そのファイルから計算されるハッシュ値だけをブロックチェーンに預かる仕組みとした。この方式では、Fig. 6 に示すように、三角1 および三角2 でハッシュ計算を行うこととなる。

エンドユーザ、監督官庁、サプライチェーン関係企業から開示要求があった場合に、データオーナーが許可をすればデータを提供し、データのハッシュ値とブロックチェーンに格納されたハッシュ値を比較することで、製造時に入力したデータであることを証明できる仕組みとした¹⁵⁾。

また、詳細の説明は省略するが、完全準同型暗号等を活用することで、暗号化したままカーボンフットプリントを計算する方法の導入も行っている¹⁶⁾。

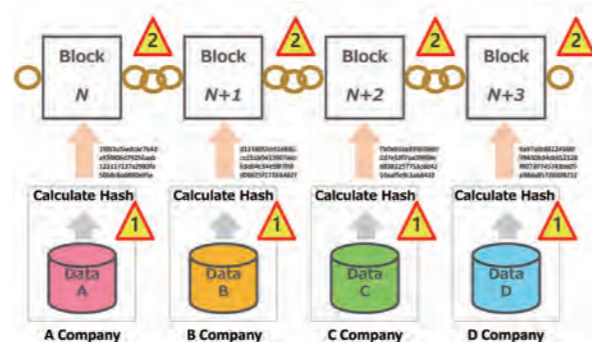


Fig. 6 How to treat the trade secret in our traceability system

4.5 情報とモノの一致を如何に図るか

世の中には多くのブロックチェーンを使ったトレーサビリティの仕組みがあるが、それらの仕組みでは情報が正しくとも目の前にある製品や商品がそれと完全に一致するものかの証明は非常に困難である。この問題は「情物一致問題」と呼ばれ、トレーサビリティを考える上で一つの大きな課題となる。これらに対して我々の仕組みでは、サーバー上とQRコード上にハッシュ値を置き、それらが一致した場合のみトレーサビリティの情報が得られるようにした。なお、1つのブロックチェーン上のブロックからはQRコードが1枚のみ発行できるものとしており、ある程度の情物一致を図っている。なお、QRコードをコピーされてしまうケースに関しては、別論文で紹介の正規品証明書QRコードの概念などを使うことも可能である⁸⁾。

4.6 既に存在するシステムに如何に容易にトレーサビリティの仕組みを入れるか

前節までトレーサビリティの仕組みに関して説明をしてきたが、トレーサビリティの仕組みを世の中に普及させるためには別の課題も存在する。それは、既存のサプライチェーンにはバーコードやQRコードを用いた仕組みが既に存在することである。そのような状況でトレーサビリティシステムの普及を図ろうとした場合には、既存QRコードやバーコードにトレーサビリティ用のデータを入れるか、別にトレーサビリティ用のQRコードを貼るしか適切な解法がない。前者は、既存のQRコードやバーコードにトレーサビリティデータを入れることでシステム全体の改修が必要になる。また後者は、既存システムでのQRコード読み込

み時に間違ったQRコードを読み込んでしまう問題やQRコードが何枚も貼られることによる意匠性の問題が生じやすい。そこで、我々は2種類のトレーサビリティに向けたQRコードの開発を行った。共に既存のシステムの改修が不要かつ我々のトレーサビリティの仕組みを導入できる仕組みである。

1つの方法は、既存のQRコードにトレーサビリティ用のQRコードを隠す技術である。デンソーウェブではSQRCと呼ばれるシークレットQRコードの開発を行っている¹⁷⁾。これらはQRコードを作成した際に通常データを入れるエリアの内、文字数の関係で余った場所（パディングビット）にデータを隠す方法である。また、我々は1枚のQRコードを多層にするQRinQRコードの開発を行った¹⁸⁾。原理はFig. 7 に示す通り非常に単純であり、現在使われているQRコードとトレーサビリティ用のQRコードの2枚を作成し、上に現在使われているQRコード、下にトレーサビリティ用のQRコードを重ね、その色の組み合わせで新規のカラーQRコードまたは濃淡のあるモノクロQRコードを作成するのみである。これらの方法で色を組み合わせると、既存のスキャナーやスマートフォンでは黒っぽいもの（黒や赤）を黒として扱い、白っぽいもの（白や黄）を白として扱ってしまう為、既存のQRコードのみが読み取られる。一方で、黒と黄を黒として扱い、赤と白を白として扱えば、トレーサビリティ用のQRコードを読み取ることが可能となる。なお、QRinQRコードと同様の方法で、QRコードをバーコードに隠すこともできるQRinBarcode技術も確立している¹⁸⁾。

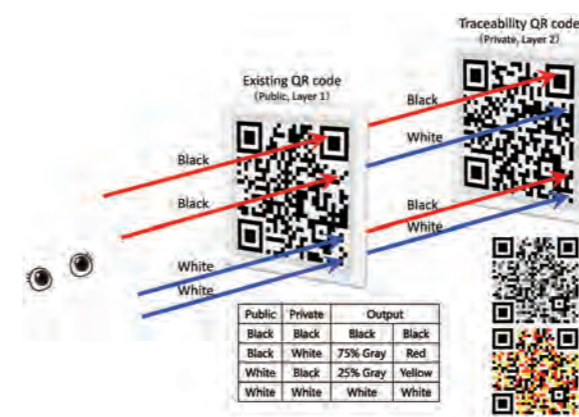


Fig. 7 Basic concept of QRinQR code

もう一つの方法は、トレーサビリティ用のQRコードを特殊な塗料で印刷することで、完全に隠しこんでしまう方法である。Fig. 8 に示す透明なQRコードでは、自然光を透過し、赤外光を吸収するインクでQRコードを印刷することで、通常時は見えないが、赤外光を当てるとQRコードが見える透明なQRコードが実現でき、それらを活用することで、既存システムや意匠の邪魔にならないQRコードの実現が可能となる。



Fig. 8 Transparent QR code. The public QR can be seen at the bottom-right corner. The private QR was hidden under DENSO logo

4.7 構築したトレーサビリティの全体像

上記の機能を搭載したトレーサビリティの仕組みの全体像を説明する。Fig. 9 では、会社Aおよび会社Bで原材料を製造し、会社Cでそれらの原材料を使って製品を製造することを仮定している。

まず、会社Aまたは会社Bでは、会社情報、製品名、製造日、原材料情報、位置情報、カーボンフットプリント情報等を入れたデータを作って頂き、そのデータのマークルートを計算する。次に、ブロックチェーンサーバーに付随したタイムスタンプサーバーで先に計算したマークルートと時間情報を足した後にブロックチェーンにデータを保存し、マイニング作業を行い、ブロックのハッシュ値を計算する。そのブロックのハッシュ値を会社Aまたは会社Bに返し、QRコードとして製品に添付をして、会社Cに出荷を行う。

その後、会社Cでは、会社Aから購入した材料のQRコードと会社Bから購入した材料のQRコードを読み込み、原材料の情報全てを引き継ぐ。そして会社Cでは同様に、会社情報、製品名、製造日、原材料情報、位置情報、カーボンフットプリント情報等を入れたデータを作って頂き、そのデータのマークルートを計算し、同様にQRコードとして製品に添付する。これらを繰り返すことによって、製品の全てのトレーサ情報を蓄えていく。

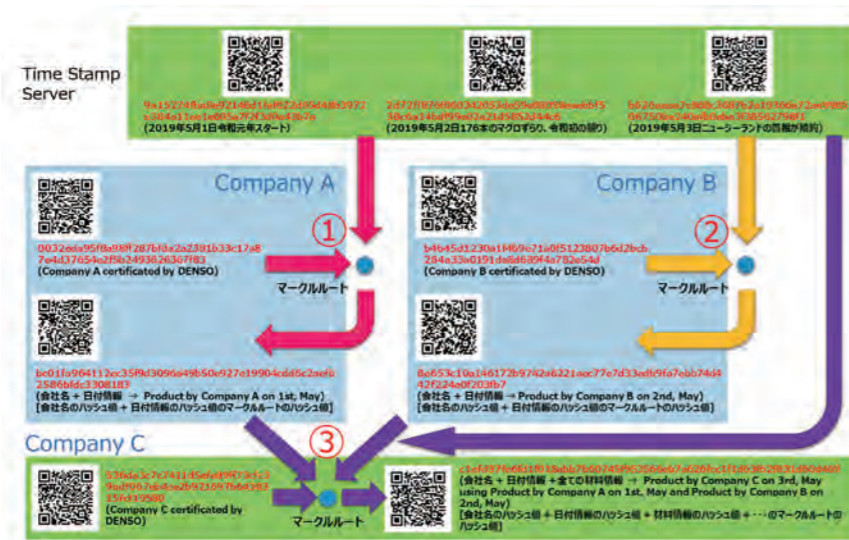


Fig. 9 Overview of our traceability system

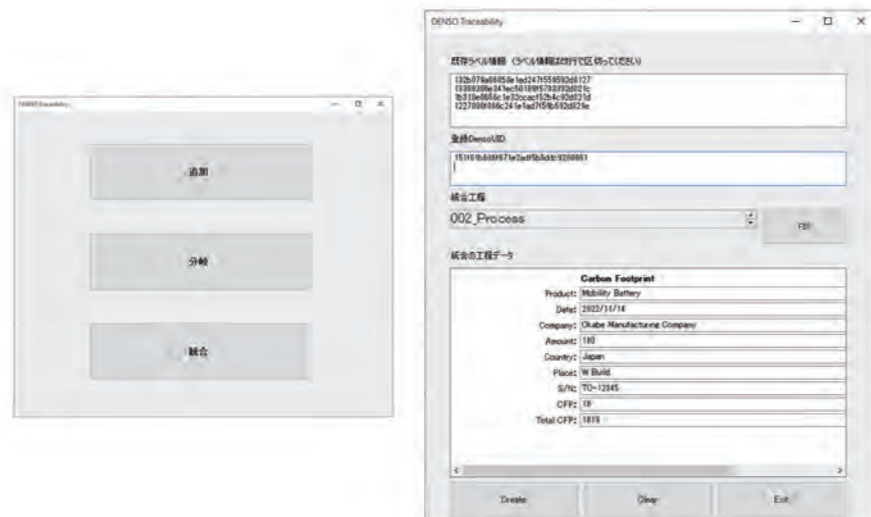


Fig. 10 Application for registration of traceability

Fig. 10 が実際に情報を入力していく画面となる。様々な業界のサプライチェーンの調査を行ったところ、どのような複雑なサプライチェーンであっても、局所的には3種類に分類でき、「追加工程」、「分岐工程」、「統合工程」の3つの工程を準備することで対応が可能である。追加工程は、1つの材料に対して加工や作業を行い、そのまま1つの製品として出荷するケースである。例えば、製品を運ぶ工程は一例である。次に分岐工程は、1つの材料に対して複数に分割し加工や作業を行うケースである。例えば製品のリサイクル工程は一例である。最後に統合工程は、複数の材料を使って組み立てを行い1つの製品として出荷するケースである。例えば車の製造工程は一例である。

次に実際の入力画面を見ると、最上段（既存ラベル情報）が材料に貼られたQRコードを読み込む場所で、Fig. 10では4つの原材料を使って製品を組み立てていることが分かる。その下の登録 DensoUIDは、組み立てた製品に貼るQRコードを入力する。そして最下段（統合工程のデータ）では、会社名、製品名、製造日、場所、シリアル番号、カーボンフットプリント等を入力する場所で、入力後に「Create」ボタンを押すとデータがクラウド上のブロックチェーンに送信し格納される仕組みとなっている。

登録されたトレーサビリティは、Fig. 11のスマートフォンアプリケーションを使って、実際に閲覧することが可能である。製品に貼られたQRコードを読み込み、順にスワイプすることで前工程の情報を閲覧することが可能となる。また、輸送工程に関しては、移動時のGPS情報から移動ルートを表示可能である。またこれらのルートから、移動時のカーボンフットプリントも計算が可能となる。なお、Fig. 11には示していないが、原材料の重量にカーボンフットプリントの原単位をかけることで、カーボンフットプリントを自動的に計算することも可能である。



Fig. 11 Application for visualization of traceability

5. むすび

本論文では、欧州電池規則、Gaia-X、Catena-Xに起因するトレーサビリティおよびデータ交換基盤の世界的な流れをご紹介した。また、DENSOが取り組んでいるブロックチェーンとQRコードを用いたトレーサビリティシステムの紹介を行った。今まで複数の企業と実証実験を行ってきたが、2024年1月から段階的に施行される規則に適用できるシステムを提供できるよう、ソフトウェアの安定性、スケーラビリティなどの検証を行っていく。

謝辞

本論文に記載の透明なQRコードは、山本化成様との共同研究である。この場をお借りして、改めて御礼を申し上げます。

参考文献

- European Commission, Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation No 2019/1020, 2020
- <https://www.data-infrastructure.eu/GAIA/Navigation/EN/Home/home.html>
- <https://catena-x.net/en/>
- <https://www.niti.gov.in/e-mobility-national-mission-transformative-mobility-and-battery-storage>
- BASC, ワーキングレポート【電池サプライチェーンを支えるデジタルスキーム案】、2022
- <https://www.teitanso.or.jp/case/>
- 徐, 岡部, Y.Huang, H.Huang, モビリティサービスに向けた車載ブロックチェーンを活用した車両データ処理システム, DENSO Technical Review, 2023
- 村上, 岡部, ブロックチェーンとQRコードの組合せによるトレーサビリティシステム-新たなQRによる可能性の広がり-, DENSO Technical Review, 2023
- <https://dlt.mobi/>
- 岡部, 三谷, 徐, 坂本, 水摩, 並木, 黄, 田村, ブロックチェーン技術を用いた車両データ・製品トレーサビリティデータの改ざん防止, DENSO Technical Review, 2019
- Satoshi Nakamoto, 「Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System」, <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>, pp.1-9, 2008
- 日本工業標準調査会, 情報技術 ~自動認識及びデータ取得技術~ QRコード バーコードシンボル体系仕様, JIS X 0510, 2018
- Justesen, Hoholdt, A Course in Error-Correcting Codes, 2004
- Okabe, Namiki, Mizuma, Tamura, Murakami, Traceability System using Blockchain and QR Code, 日本機械学会, 2021
- 岡部, 情報管理方法, 及び情報管理プログラム, 特開2022-99921, 2022
- Yagisawa, Fully Homomorphic Encryption without Bootstrapping, 2015
- <https://www.denso-wave.com/ja/system/qr/product/sqrc.html>
- 岡部, 情報コード, 情報コード印刷媒体, 情報コード生成装置, 情報コード生成プログラム, 情報コード生成方法, 情報コード読取装置, 情報コード読取プログラム, 及び情報コード読取方法, 特開2021-196762, 2021
- <https://www.denso.com/jp/ja/news/newsroom/2022/20221013-01/>

著者



岡部 達哉

おかべ たつや

まちづくり企画室 Doktor Ingenieur
(Universitaet Bielefeld)
ブロックチェーン及びトレサビシステム開発
に従事



徐 昕

じょ しん

まちづくり企画室 博士(工学)
(北海道大学)
ブロックチェーン及びトレサビシステム開発
に従事



村上 貴一

むらかみ たかかず

まちづくり企画室
ブロックチェーン及びトレサビシステム開発
に従事



ヤウエン ファン

やうえん ふあん

まちづくり企画室 博士(工学)
(東京工業大学)
ブロックチェーン及びトレサビシステム開発
に従事



柴田 大輔

しばた だいすけ

まちづくり企画室
電池 3R および BaaS 開発に従事