

自動車部品製造におけるブロックチェーンベースの カーボンフットプリントデータ管理基盤の提案

堀 遥†

Le Hieu Hanh†

小口 正人†

† お茶の水女子大学

1 はじめに

横断的なデータ連携基盤の構築により、社会課題や経済課題の解決を目指すという取り組みが各国で推進されている。CRESTにて進行中のプロジェクト「検証可能なデータエコシステム」¹では、データに付随する信頼度や来歴を第一級のデータとしてサポートし、任意のデータが検証可能であるようなデータエコシステムの研究開発を目指しており、実証実験として自動車造業におけるカーボンフットプリント (CFP) 管理に取り組んでいる。我々の中でも、データエコシステムの基盤となる分散データベースシステムへの安全性の提供を目指す。実証実験のシナリオに基づき、データエコシステムの安全性を提供すべく、以下の課題に取り組む必要がある。一点目は異なる企業間の連携の信頼性を担保する必要がある。二点目に内外部を問わずに発生する改ざん攻撃を検知する機能が求められる。三点目は部品は複数の部品を組み立てて作られるため、階層的な構成をしており、製品単体のカーボンフットプリント値の計算には再帰的な探索が必要となる。

我々はこれまでに第一、第二の課題に対し、P2P上でデータ検証機能の実装、第三の課題に対し、メモ化による再帰探索の省略というアプローチを検討し、実社会で開発が進むデータ連携基盤²を参考に実装を行った[1]。本稿では、処理オーバーヘッドの低減を実現するための設計と、自動車部品のカーボンフットプリントデータ管理システムとして、より実運用に近い評価実験を行う。

2 定義

部品の構成に関する親子関係は木構造で表したものを、本稿では部品木と呼ぶ。図1は部品 P_A の部品木の例である。部品 P_A を製造する企業が、部品 $P_B, P_C, \dots, P_N$ を組み立てる際に発生した CO_2 排出量を $\text{CFP}(P_A)$ と呼ぶことにする。また、部品完成までのサプライチェーンを遡って算出、すなわち部品木全体のCFPを全て足

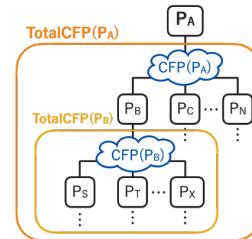


図 1: 部品木の例

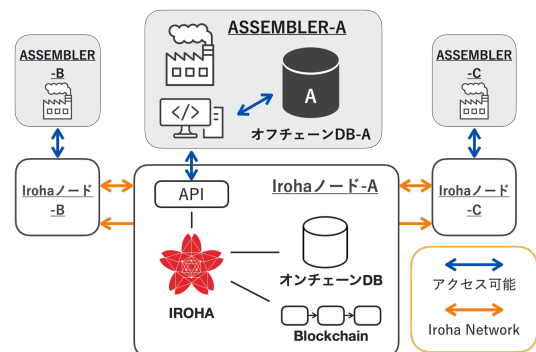


図 2: 提案システム全体の構成

し合わせたものは部品 P_A のカーボンフットプリントであり、 $\text{TotalCFP}(P_A)$ と呼ぶ。本稿では TotalCFP データを検証可能な形で保存する TotalCFP 算出プロセスと検証を行う TotalCFP 検証プロセスを提案する。

3 提案手法

図2には提案システムの全体像を示す。ASSEMBLERとはサプライチェーンに参加する企業である。各ASSEMBLERはローカル環境にオフチェーンDBとHyperledger IrohaのIrohaノードを持つ。ASSEMBLER同士は直接連携せず、IrohaノードがIroha Networkを介して接続される。オフチェーンDBには自社内の情報のみを持ち、他社のデータは保有しない。

一つ目のメインプロセスである TotalCFP 算出プロセスを説明する。図3にASSEMBLER-Aで生産する部品 P_A の TotalCFP 算出プロセスの流れを示す。一連の処理はスマートコントラクト技術であるIroha組み込みコマンドで実装されている。このプロセスを経て、耐改ざん性に優れるオンチェーンDBに最新の TotalCFP データが格納される。本プロセスは、提案システムに新しく部品を登録する場合や各ASSEMBLERのCFPデータ更新時に必ず実行する。

二つ目のメインプロセスである TotalCFP 検証プロ

A Study of a Method to Implementation a Distributed Database with Data Verification Using Hyperledger Iroha

†Haruka Hori †Hieu Hanh Le †Masato Oguchi

†Ochanomizu University

¹<https://www.kde.cs.tsukuba.ac.jp/crest/index.html>

²Ouranos Ecosystem(https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/digital_architecture/ouranos.html)

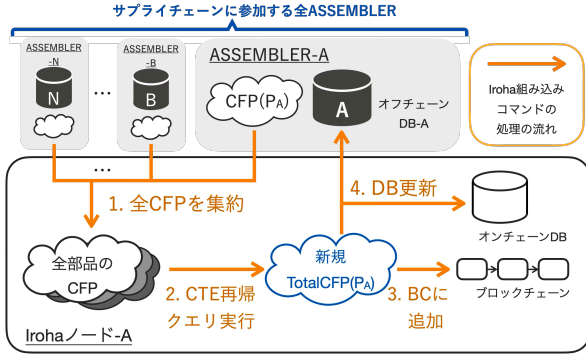


図 3: TotalCFP データ算出プロセスの概要

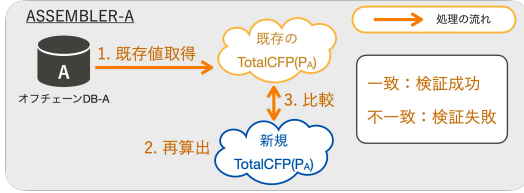


図 4: TotalCFP データ検証プロセスの概要

セスでは、オフチェーン DB 上に保管された TotalCFP データの改ざんの有無を検証する。部品 P_A における例を図 4 に示す。ここで、本稿では検証可能範囲の異なる 2 つの手法を提案する。まず、部品木全体が検証可能となる Fine-grained 手法では、TotalCFP 算出プロセスに準じた実装となる。次に、部品木で検証対象部品の直下に位置する子部品のみが検証可能となる Coarse-grained 手法では、オンチェーン DB の値を活用し、再帰的处理を省略する。

4 評価

提案手法の性能を調査すべく、TotalCFP 検証プロセスの Fine-grained 手法と Coarse-grained 手法をそれぞれ実行し、処理時間を計測した。複数の部品木を制約のもとで生成し、根の親部品の TotalCFP を検証する。ここで、本実験ではシステムに参加する ASSEMBLER 数を 3 社とした。

4.1 完全木の比較

完全 5 分木で表される 6 つの部品木を生成した。総部品数は $\sum_{i=1}^N 5^i$, $\{N = 1, \dots, 6\}$ となる。各部品木を対象に 2 つのデータ検証の実行時間を測定し、10 回分の平均を求めた。結果を図 5 に示す。まず Fine-grained 手法であるが、高さ 2 から 4 までは実行時間は横ばいであるが、以降は増加傾向にある。総部品数は増加、高さは高くなり、単純に木のサイズと扱うデータ量は多くなるため、処理時間の増加は妥当と考えられる。次に Coarse-grained 手法では、部品木のサイズに関わらず、0.11-0.12 秒程度となった。その差は最大となる高さ 7 にて約 1/6 であり、非常に高速である事が示された。

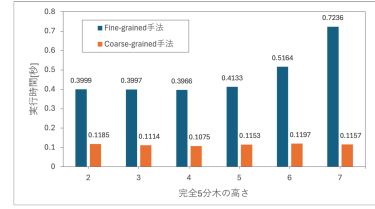
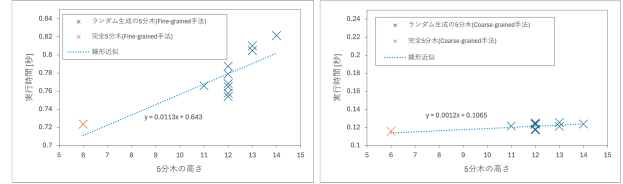


図 5: 完全 5 分木における実行時間



(a) Fine-grained 手法

(b) Coarse-grained 手法

図 6: 総部品数:19530 の部品木における実行時間

4.2 総部品数一定での比較

総部品数が 19,530 個という条件のもと、ランダムに部品木を 10 個生成し、同様に実行時間を調査した。高さ 7 の完全 5 分木は総部品数が 19,530 個であるため、ランダム生成の結果と併せて図 6 に示す。まず Fine-grained 手法であるが、木の高さに対して実行時間が増加するとわかる。これは図 3 の TotalCFP 算出プロセスの「2. CTE 再帰クエリを実行」にて再帰探索する回数が増えるため、処理時間もまた、増加していると考えられる。一方で Coarse-grained 手法においては、第 4.1 節の結果と同様に、高さに関わらず 0.11-0.13 秒程度で安定している。

5 まとめと今後の課題

本研究では、自動車部品のカーボンフットプリントデータを検証可能な形で保存するための TotalCFP 算出プロセス、および P2P 上でデータ検証を叶える TotalCFP 検証プロセスを提案した。Fine-grained 手法は検証対象部品の部品木全体を検証範囲とするが、Coarse-grained 手法は改ざん検知範囲が限定される側面があり、実行速度と検証範囲はトレードオフとなった。今後の課題として、より実用性を高めるべく、改ざんを検知するだけで終わらず、発生箇所の特特定も可能なシステムを目指し、アプローチの検討・実装を行っていく。

謝辞

本研究は一部、JST CREST JPMJCR22M2 の支援を受けたものである。

参考文献

- [1] Haruka Hori and Masato Oguchi. A study of blockchain-based metadata management and its use for data verification. In *In Proc. the 12th International Symposium on Computing and Networking (CANDAR2024)*, 2024. (<https://www.computer.org/csdl/proceedings-article/candarw/2024/053400a063/237Ltyz3pBe>).