Civil Infrastructure Platformへの10年の技術貢献と社内共通Linuxによる保守コスト削減

Ten Years of Technological Contributions to Civil Infrastructure Platform and Reduction of Software Maintenance Workload through Toshiba Group's Original Linux® Distribution

小林　良岳 KOBAYASHI Yoshitake　　林　和宏 HAYASHI Kazuhiro　　岩松　信洋 IWAMATSU Nobuhiro

社会インフラシステムでは，Linux®の適用が拡大する一方，上流（ソフトウェアの開発元）のコミュニティによるサポート終了後は必要な修正を各社が自ら追跡・適用する必要が生じる。そのため，長い製品ライフサイクルに見合う10年以上の超長期サポート（SLTS：Super Long-Term Support）体制の構築が課題となっていた。

東芝は，この課題を共有する企業とともに2016年に設立したCivil Infrastructure Platform（CIP）を技術的に牽引（けんいん）し，共通して必要な非競争領域として，競合企業と協調しながら，SLTSカーネルの構築，リアルタイム（RT）制御の標準化，IEC（国際電気標準会議規格）のセキュリティー標準への適合，及びセキュアな更新基盤の整備を図り，その成果を各社の事業価値創出へとつなげる活動を推進してきた。また，CIPでの協調開発成果である共通ベースレイヤーをコアに据えて，社内共通Linux“Skelios™”を構築した。これを60以上の製品群で活用し，保守コストを最大70 %削減できると試算している。

With the expanding use of Linux® in various fields of social infrastructure, there is growing demand for super long-term support (SLTS) of ten years or more to accommodate long product lifecycles and eliminate the need for individual users to track and apply necessary updates after the standard support period ends.

Toshiba Corporation has played a leading technical role in the Civil Infrastructure Platform (CIP) project, which was established in 2016 in collaboration with companies facing common issues, and has promoted activities that contribute to business value creation for participating companies in non-competitive areas, including the development of SLTS kernels, standardization of real-time control, compliance with International Electrotechnical Commission (IEC) security standards, and development of secure update frameworks. We have also developed Skelios, a custom Linux distribution for Toshiba Group's products that uses common base layers derived from the outcomes of the CIP project, and have applied it to more than 60 product lines. We estimate that Skelios can reduce the software maintenance workload by up to 70%.

1. まえがき

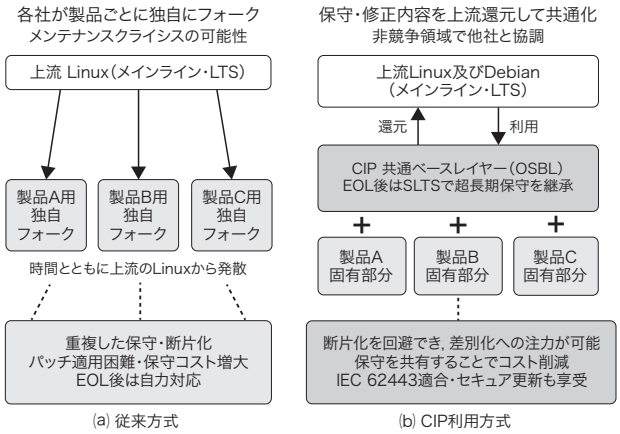
鉄道・物流・発電・産業用PLC（Programmable Logic Controller）といった社会インフラシステムを構成する，自動改札機やプラント制御用コントローラーなどの製品の多くは，製品ライフサイクルが十年から数十年に及ぶ。このため，最低でも10年間の製品サポートは，社会インフラ分野においてはオプション要件ではなく必須要件である。これに対し，社会インフラシステムの構成機器に適用が拡大しているLinuxカーネル[(1)–(3)]の上流のOSS（オープンソースソフトウェア）コミュニティによるサポート期間は，通常数年で終了するため，製品の稼働期間中に上流のLinuxカーネルのセキュリティー修正が受けられなくなる。

このような10年を超えるSLTSの要件を各社が個別に満たそうとすると，製品ごとに独自にLinuxのコピーを作成して修正（フォーク）し，長期にわたって維持し続ける必要がある。しかしこのアプローチは，時間の経過とともに上流のLinuxカーネルとの乖離（かいり）を拡大させ，セキュリティーパッチの適用を困難にし，保守コストを累積的に増大させる。これは特定の1社だけの問題ではなく，産業用途向けにLinuxを採用する企業が等しく直面する“メンテナンスクライシス”と呼ぶべき構造的問題であった（**図1**(a)）。

その解決の鍵となるのが，競合関係にある企業同士であっても，製品の差別化に関わらない非競争領域（基盤レイヤー）については協調して共通の土台を維持するという発想である。CIPは，正にこの“非競争領域での協調”を産業界で実現する枠組みとして誕生した[(4)]。

2. CIPの設立と東芝のリーダーシップ

CIPの源流は2014年に遡る。同年10月，東芝は自社の産業用製品の現場で直面した長期保守の課題に基づき，Linux Foundation内で産業グレードのLinux基盤の必要性を提案した。その後，シーメンス社からも同年12月にほぼ同じ問題意識に基づく提案が，別のルートで寄せられた。両社が互いの動きを知らずに，同時期に同課題へたどり着いたという偶然が，CIP発足の直接の契機となった。この事実



Debian：Debian/GNU Linux　OSBL：Open Source Base Layer
EOL：End of Life　LTS：Long-Term Support

図1. 従来の製品ごとのLinux保守方式と，CIPを利用して共通化を図るLinux保守方式の比較

製品ごとに独自フォークする従来の保守方式では，時間とともに上流のLinuxとの乖離・断片化が進み，保守コストが増大するが，CIPを利用した保守方式では，上流還元による共通化で断片化を回避し，保守コストを削減できる。

Comparison of conventional maintenance method for each product and common maintenance method standardized by CIP project

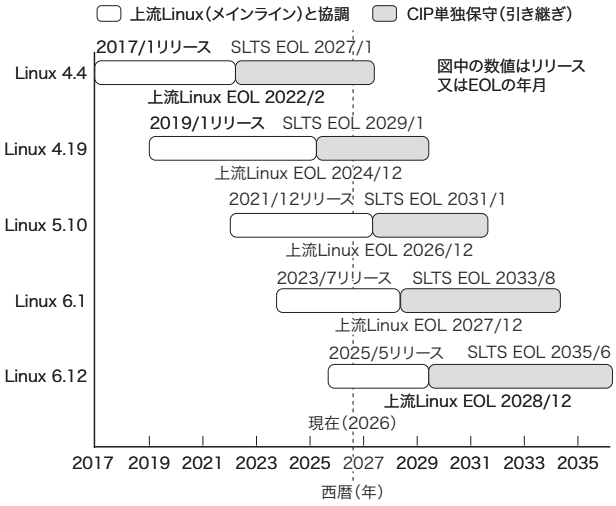


図2. SLTSカーネルの開発ロードマップ

Linuxカーネル4.4から6.12までに対応したv 4.4からv 6.12までの各SLTSカーネルは，上流のLinuxと協調する期間と，上流のLinuxのEOL後にCIPが単独で保守を引き継ぐ期間から成る。

Roadmap for development of SLTS kernels

は，長期保守というテーマが特定の1社の事情ではなく，産業界に共通する切実な課題であったことを示している。両社を中核に賛同企業を得て，CIPは2016年に正式に発足した。その後，ルネサスエレクトロニクス社やテキサス・インスツルメンツ社などの，社会インフラシステムにSoC（System on a Chip）を提供している企業が参加し，2026年6月現在，9社で活動している。競合企業同士がベースレイヤーで協調するという理念は，設立当初から一貫してプロジェクトの中核を成している。

当社はCIP設立以来10年以上にわたり，技術運営委員会（TSC：Technical Steering Committee）の議長，CIP SLTSカーネルの保守を担当するカーネルメンテナー，そして複数のワーキンググループ（WG）の議長を歴任するなど，全方位で技術活動を牽引してきた。とりわけ，CIPとしての統一見解を形成し，それを巨大なOSSコミュニティと連携させる橋渡し役を担ってきた点が重要である。社会インフラ事業者の要求を上流のLinuxカーネル開発コミュニティに届け，同コミュニティの成果を産業界に還元する双方向の循環が，CIPの価値の源泉である。

3. CIPにおける主要な技術的活動と成果

3.1　上流還元の徹底とSLTSカーネル

CIPの技術活動の根幹は，保守・修正内容の“上流還元”を徹底して実施することにある。製品固有の独自パッチをローカルに抱え込むのではなく，上流のLinuxカーネル開発コミュニティでの承認を得た（上流還元）上で，それを各SLTSカーネルへバックポートする。この原則により，長期保守を続けながらも上流のLinuxカーネルとの乖離を最小限に抑え，将来の断片化を回避している（図1(b)）。

現在，CIPはv4.4からv6.12に至る五つのアクティブなSLTSカーネルを維持しており，いずれも初回リリースから最低10年間サポートされる。最新のv6.12は2035年までの保守が予定されている。各カーネルの保守は二つの段階から成る。上流のLinuxカーネルがサポートしている間はこれと協調して上流還元を進め，上流のLinuxカーネルがEOL（End of Life）を迎えた後は，CIPがその保守を引き継いで単独で継続する。この2段階のサポートが世代をまたいで途切れなく重なることで，社会インフラシステムの長いライフサイクルをカバーしている（**図2**）。

当社のメンテナーを含むCIPカーネルチームは，月間千件を超えるパッチレビューに継続的に貢献し，膨大な脆弱（ぜいじゃく）性情報（CVE：Common Vulnerabilities and Exposures）に基づく修正のバックポートを継続的に積み重ねてきた。この活動の規模は，上流のLinuxカーネルEOL後にCIPが単独で積み増した修正量に端的に現れる。例えばLinux 4.4では，上流のLinuxカーネルがEOLを迎えた2022年2月以降もCIPが単独で約3千件の修正を加え，累積で約2万2千件に達している。より新しいLinux4.19でも，上流のLinuxカーネルEOL（2024年12月）後にCIPが約1万件を追加し，累積は約3万件に及ぶ（**図3**）。この継続的かつ大規模な保守活動が，後述するSkeliosの低工数・高信頼性を支える土台と

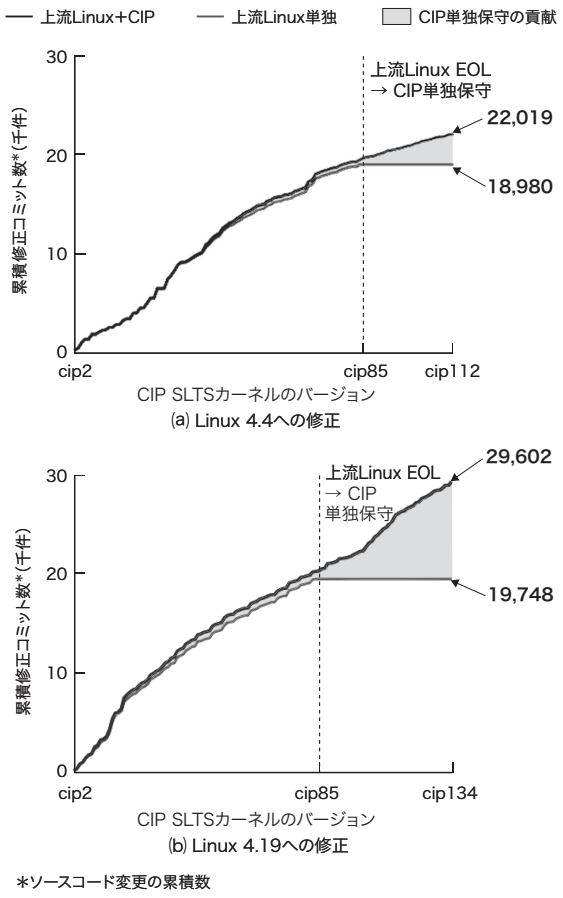


図3. CIPにおけるLinuxカーネル4.4及び4.19への累積修正実績
上流のLinuxのEOL後もCIPが単独で保守を継続している。
Relationship between cumulative number of commits and CIP SLTS kernel version

なっている。

この体制の価値は，特に，上流のLinuxカーネルがEOLを迎えた後に際立つ。あるユースケースでは，システム起動時に1～2万回に1回という極めて低い確率で発生する致命的な不具合が報告された。原因となった上流のLinux 4.4 LTS（Long-Term Support）及びRTカーネルは既にEOLを迎えており，通常であれば自力での修正を余儀なくされる場面である。CIPカーネルチームは，上流のLinuxの最新RTカーネルにおける関連変更を特定して上流還元し，コミュニティの確認を経た上で修正を完成させた。製品の稼働後に顕在化する低頻度かつ致命的な不具合を，継続サポート体制が確実に解消した事例である。

3.2 RT制御の標準化

産業用制御では，決められた時間内に必ず処理を完了する応答性（RT性）が求められる。CIPは，長年にわたり外部パッチとして提供されてきたLinuxのRT拡張PREEMPT_RTが，2024年11月のLinux 6.12でメインライン化されるという歴史的節目に貢献した。併せて当社は，CPU高負荷状況下でも応答遅延（レイテンシー）の最悪値をマイクロ秒オーダーに収める評価，サブミリ秒粒度での高精度なCPU時間割り当て，マルチコアにおけるコア隔離手法を確立し，産業現場で要求される厳密なRT性を実証している。

3.3 セキュリティー標準IEC 62443-4への適合とEU CRA法への対応

CIPは，OSSプロジェクトとして世界で初めて，セキュア開発ライフサイクルに関する国際標準であるIEC 62443-4-1，及びコンポーネントの技術的セキュリティー要件について定めたIEC 62443-4-2の適合確認を達成した。IEC 62443-4-1は2024年8月に第三者認証機関ビューローベリタス（BV）による適合を取得し[5]，続いてIEC 62443-4-2も2026年1月に適合確認を完了した。汎用的なベースレイヤー単体で適合を取得しておくことで，これを拡張する各製品は，適合済みのプロセス・文書・検証実績を流用でき，認証取得までの作業を大幅に効率化できる。この成果は，欧州連合（EU）のサイバーレジリエンス法（CRA）が求める要件とも広く重なり，CIPでは現在CRAへの対応も進めている。規制対応の負担そのものを共通基盤として肩代わりする効果を持つ。

3.4 セキュアで信頼性の高いソフトウェア更新基盤

長期間稼働するデバイスをセキュアかつ確実に最新状態へ保つには，堅ろうなソフトウェア更新の仕組みが欠かせない。当社はCIPのSoftware Update WGの議長として，この基盤構築を主導している。更新の中核には，署名検証やロールバック攻撃への耐性を備えたセキュアな更新フレームワークのTUF（The Update Framework）を採用している。更新の配信・適用は，シーメンス社がOSSとして公開している軽量・汎用ワークフロー実行基盤であるwfxが駆動し，更新処理をCommand-Feedback-Completion（CFC）スキームに基づくDAU（Device Artifact Update）ワークフローとして進める（**図4**）。併せて，起動時のデバイス自動オンボーディングや定期的なヘルスチェック（死活監視）など，多数のデバイスを実運用で管理する機能を備えている。これらは，4章で述べるSkelios採用のデバイスにおける更新コスト削減にも直結する。

4. デジタル共通基盤としての社内LinuxディストリビューションSkelios

当社のデジタルイノベーション技術センターは，グループ全体の製品開発を加速する共通デジタルアセットの開発を，ミッションの一つとしている。その中で，CIPが提供する共通ベースレイヤーであるOpen Source Base Layer（OSBL）を最も重要なコアコンポーネントと位置付けて構築したのが，社内共通LinuxディストリビューションSkeliosである（**図5**）。

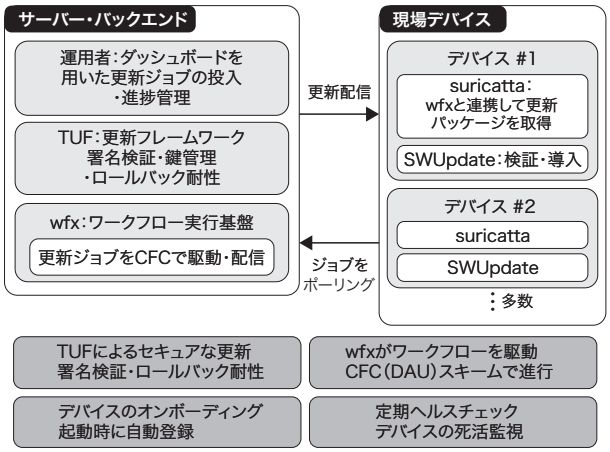


図4. CIPのソフトウェア更新基盤の特長

セキュアなフレームワークのTUFを採用し，軽量・汎用の実行基盤であるwfxで更新ワークフローを駆動するとともに，デバイスのオンボーディングとヘルスチェックなどの実運用のための機能を備えている。

Overview of secure software update framework developed by CIP project

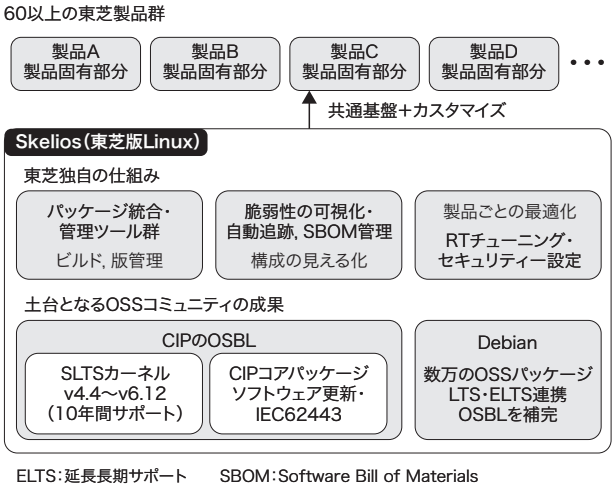


図5. Skeliosのアーキテクチャー

CIP及びDebianを土台とし，東芝独自の技術開発成果を追加して製品適用を進めている。

Skelios architecture

CIPとDebian/GNU Linux（以下，Debianと略記）を土台とするSkeliosの導入により，各製品部門がこれまで個別に行っていたOSSライセンス確認，脆弱性監視，長期保守に掛かる工数を，最大70 %削減できると試算している。なお70 %は実測値ではなく，保守工数の構造に基づく試算値である。具体的には，製品部門におけるOSS関連の保守工数を“脆弱性の監視・トリアージ”，“セキュリティーパッチのバックポート・適用”，“OSSライセンスの確認”，“ビルド・検証基盤の維持”，“製品固有部分の保守”の各項目に分解し，このうち前者4項目はその大部分がベースレイヤーに起因する作業であることに着目した。これらをSkeliosでは中央のプラットフォームチームとCIPコミュニティが一括して担うため，各製品部門には製品固有部分の保守だけが残る。固有部分の比率が小さい製品では，削減率が最大70 %に達すると見込まれる。加えて，Software Update WGが整備したセキュアな更新機能を活用することで，現場に設置されたデバイスの更新コストも大幅に改善した。Skeliosは既に60種類以上の製品群で稼働しており，CIPでの10年にわたる協調投資が，事業価値としてフィードバックされていることを示している。

5. あとがき

社会インフラのデジタル化が進む中，CRAに代表されるセキュリティー規制は世界的に厳格化の一途をたどっている。当社が10年にわたり築いてきた協調の枠組みは，サイバーレジリエンスの時代においてこそ真価を発揮する。今後もCIPを通じて，産業界の課題解決とOSSコミュニティへの還元をリードしていく。

文　献

(1) 森田秀則，ほか．信頼性と拡張性を備えた新型自動改札機 EG-5000．東芝レビュー．2010，**65**，10，p.45–49．
(2) 石川鉄郎，ほか．運用性と環境の改善を実現する次世代コントローラTOSMAP-DS/LX．東芝レビュー．2013，**68**，11，p.29–31．
(3) 本島大地，ほか．エッジリッチなCPSを実現する制御システム向けIoT対応コントローラー．東芝レビュー．2021，**76**，1，p.46–49．<https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/jp/technology/corporate/review/2021/01/f04.pdf>，（参照 2026-07-01）．
(4) Civil Infrastructure Platform. "The Civil Infrastructure Platform". The Linux Foundation. <https://wiki.linuxfoundation.org/_media/civilinfrastructureplatform/whitepaper_short.pdf>, (accessed 2026-07-01).
(5) 林和宏，ほか．サイバーセキュリティー規格IEC 62443–4に対する取り組み．東芝レビュー．2025，**80**，5，p.32–36．<https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/jp/technology/corporate/review/2025/05/f01.pdf>，（参照 2026-07-01）．

・Linuxは，米国及びその他の国における Linus Torvalds氏の登録商標。


小林　良岳　KOBAYASHI Yoshitake, Ph.D.
総合研究所 デジタルイノベーション技術センター
博士（工学）　情報処理学会・電子情報通信学会・Association for Computing Machinery会員
Digital Innovation Technology Center


林　和宏　HAYASHI Kazuhiro
総合研究所 デジタルイノベーション技術センター
コンポーネント技術部
Component Technology Dept.


岩松　信洋　IWAMATSU Nobuhiro
総合研究所 デジタルイノベーション技術センター
コンポーネント技術部
Component Technology Dept.