

feature article

組込みソフトウェア開発プロセス改善の 取り組みと支援サービス

Approach to Process Improvement of Embedded Software Development and Support Services

新海 良一 Yoshikazu Shinkai

臼井 孝雄 Takao Usui

桜庭 恒一郎 Koichiro Sakuraba

飯島 三郎 Saburo Iijima

近年、組込みシステムの製品は、適応範囲の拡大に伴い、高機能化・高性能化が求められ、ソフトウェア開発の重要性が高まっている。

しかし、複雑化、大規模化、短納期化するソフトウェア開発は、従来の開発方法では対応しきれず、開発プロセスや開発体制、環境の整備が急務となってきている。

日立グループは、成果物重視の品質保証活動に加え、ソフトウェア開発プロセスを重視した品質向上活動、高品質な組込みシステム製品を支えるプロセス改善活動に組織の枠を越えて積極的、継続的に取り組んでいる。さらに、それらの経験・知識に基づき、顧客に対するプロセス改善支援を行うコンサルティングサービス活動を展開し、組込みシステムの発展に貢献していく。

1. はじめに

日立グループは、品質を重視するという伝統的な考え方に基づき、品質保証部門を設計・開発部門から独立させ、テスト工程での成果物の品質保証活動に取り組むソフトウェア開発体制を各部門で敷いている。

近年の携帯電話、カーナビゲーションシステム、デジタル家電などの組込みシステムの製品では、高機能化、高性能化に加え、短納期での高品質なソフトウェア開発が重要視されており、さらなる改善が求められている。日立グループは、これらの市場ニーズに早期から対応するために、成果物重視の品質保証活動に加え、プロセス重視のソフトウェア開発に取り組んでいる。

プロセス重視の開発は、組込みシステムの製品だけでなく、金融システム、公共システム、大規模システムなど、さまざまな分野で重視されている。また、その傾向は日本だけでなく、欧米を中心に全世界で見られ、地域や業種を越えて広がっている。

米国では政府機関である米国国防総省の支援の下、1990年代初めにカーネギーメロン大学のSEI (Software Engineering Institute: ソフトウェア工学研究所) が、ソフトウェア開発モデルとしてソフトウェアCMM^{※1)} (Capability Maturity Model) 初版を開発した。その後、SEIはソフトウェア開発に加え、ハードウェア開発やシステムエンジニアリング開発など、全世界のさまざまな分野の開発事例を基に改良を重ね、2006年に現在の開発モデルのデファクトスタンダードとも言える「開発のためのCMMI^{※1)} (Capability Maturity Model Integration) パー

ジョン1.2」(以下、CMMIと記す。)を発表した¹⁾。

日立グループは、CMMIをソフトウェア開発の参照モデルとして活用し、さらにはSEIの提唱するIDEAL^{※2)} (Initiating, Diagnosing, Establishing, Acting, Learning) モデルによる組込み開発プロセス改善活動に取り組む、大きな成果を上げている²⁾。また、そこで得た経験や知識、ノウハウを生かし、さまざまな顧客にプロセス改善支援コンサルティングサービスを展開している(図1参照)。

ここでは、CMMIモデル、および独自開発ツールの活用による日立グループでのプロセス改善活動事例、および定量データによる改善効果について述べる。

2. プロセス改善活動

2.1 日立ソフトウェアエンジニアリング株式会社の事例

日立ソフトウェアエンジニアリング株式会社(以下、日立ソフトと記す。)では、市場ニーズの変化をいち早くとらえ、従来の成果物重視の開発から、プロセス重視の開発へと全社を挙げて移行している。プロセス重視の開発は、これまでにその経験やノウハウの蓄積がなく、またソフトウェア業界にとっても新しい取り組みであった。そのため、米国コンサルティング会社のSEI公認リードアプレイザを迎え入れ、全事業部を対象にSEI公式SCAMPI^{※2)} (Standard CMMI Appraisal Method for Process Improvement) アプレイザル(以下、アプレイザルと記す。)を実施した³⁾。

※1) CMM, CMMIは、カーネギーメロン大学によってアメリカ合衆国特許登録庁に登録されている。

※2) IDEAL, SCAMPIは、カーネギーメロン大学のサービスマークである。

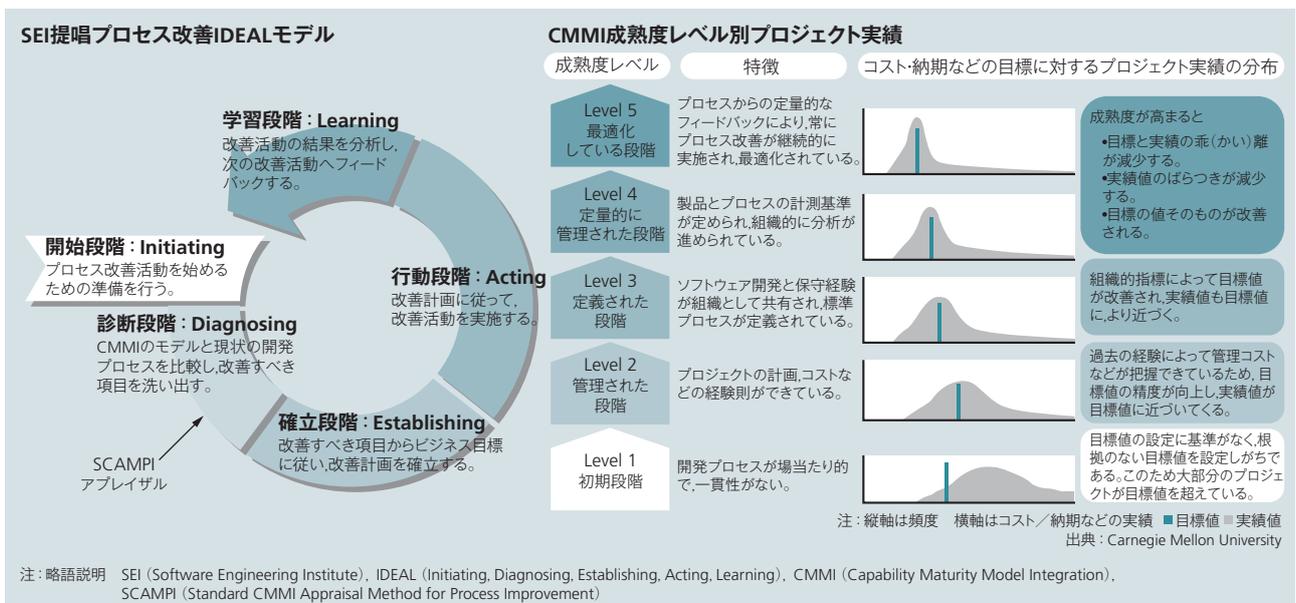


図1 IDEALモデルとCMMI成熟度レベル別プロジェクト実績分布

SEIが提唱するプロセス改善サイクルであるIDEALモデルに基づき、日立グループは組織横断的にソフトウェア開発プロセス改善活動に取り組んでいる。また、ソフトウェア開発の参照モデルとしてCMMIを積極的に取り入れ、CMMI成熟度レベル別プロジェクト実績分布で示すレベルに基づき、自社の改善活動を推進し、日立ソフトウェアエンジニアリング株式会社、および株式会社日立情報制御ソリューションズでは、改善の成果として、CMMI成熟度レベル5（最適化している段階）を達成した。このような日立グループでの改善実績、ノウハウを生かして、改善支援コンサルティングサービスを展開している。

その結果、CMMIモデルと現行開発プロセスとの差異が改善機会として明確になり、改善項目の整理・優先順位づけ、プロセス改善計画の策定、および組織の標準プロセス整備に、組織的、体系的に取り組むことが可能となった。

日立ソフトのプロセス改善施策として、プロセス重視の開発とプロセスQA（Quality Assurance）活動および上流工程での品質のつくり込みに関する二つの事例について以下に述べる。

(1) プロセス重視の開発とプロセスQA活動

プロセス重視の開発とは、良品質の製品をつくり出すために組織やプロジェクトが定義したプロセスを順守して作業を行うことが、品質のつくり込み（品質向上）につながるという考え方に基づいた開発である。これを支える活動が、開発部門とは完全に独立した社長直属の品質保証部門によるプロセスQA活動（対象とする組織やプロジェクトが定義したプロセスを順守して作業を行っていることを客観的に保証する活動）である。

全事業部門対象のアプレイザル分析結果を受け、組織の標準開発プロセスの整備を進めていく一方で、全社を挙げてプロセスQA活動の推進に取り組んだ。プロセスQA活動は、標準開発プロセスからテーラリング（プロジェクトに合うようにカスタマイズ）された各プロジェクトが従うように定義されたプロセスに対してチェックリストを作成し、開発現場が決められたプロセスを順守していることを確認する活動である。ここで重要なことは、単にプロセスの不順守を取り締まることではなく、そのプロセスに従わないことによって、プロジェクトにどのような不利益や不

具合が起こりうるかを明確に説明することである。これによって、プロセスを押し付けるのではなく、意味のある活動と理解して取り組んでいくことができる。現場にとって使い勝手の悪いプロセスは、現場やSEPG（Software Engineering Process Group）、プロセス策定者などと議論を重ね、標準プロセスの見直しも繰り返し行う。また、ドキュメントや設計書などの成果物を入手して、その内容を確認するだけでなく、プロセスQA担当者が開発現場に出向いたり、会議に参加したりと現場重視のプロセスQAを実施した。これにより、開発現場の状況が直接確認できるだけでなく、不順守があった場合の対処を、即座に、かつ的確に行うことができ、きわめて有効であった。

プロセスQA活動の継続的な実施により、個人やプロジェクトに依存した開発から、組織の標準プロセスをベースとしたプロセス重視の開発への移行が加速した。この活動は、問題点の早期発見、手戻り防止、コスト削減、ノウハウの情報共有などを進めるうえでの大きな役割を担っている。

(2) 上流工程での品質のつくり込み

上流工程での品質のつくり込みとは、テスト工程において不具合を摘出するのではなく、要件定義、設計書作成、コーディングなどテスト工程に入る前（上流工程）に不具合を摘出し、テスト工程以降（下流工程）で潜在的な不具合を極力残さないことにより、品質向上、コスト削減、および生産性向上を実現するという考え方である。この実現に向け、ピアレビュー（技術者どうしが行う不具合抽出を目的としたレビュー）手法を全社的に導入した。さらに、

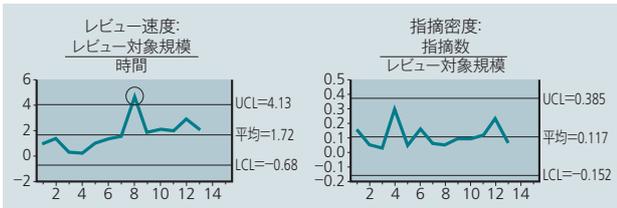


図2 日立ソフトウェアエンジニアリング株式会社におけるピアレビュー分析の例

レビュー速度や指摘密度などのレビュー指標を用いて、不具合指摘に対する修正だけでなく、レビュー自体の品質（パフォーマンス）を向上させることにより、潜在的な不具合の見逃しを削減する。

ピアレビュー実施による不具合摘出だけではなく、ピアレビュー自体の品質（パフォーマンス）を確認するための指標として、レビュー速度や指摘密度などを収集・分析し、レビュー自体の品質向上を図ることにより、潜在的な不具合の見逃しを削減し、成果物の品質向上に努めている（図2参照）。

またピアレビュー支援ツールとして、「anyWarp Code-Director for C/C++」（以下、aWCと記す。）を独自開発し、ピアレビュー実施前にコーディングルールの順守状況を自動チェックするという活動も推進している。aWCの活用により、ピアレビューではコーディングルール以外の論理設計などの観点での不具合摘出に集中することができる。その結果、潜在不具合の摘出を効率的に行うことが可能となり、上流工程での品質のつくり込みに大きく寄与している。なお、ピアレビュー前のaWCの導入は、レビュー対象規模が大きいほど、より高い効果が得られることがわかっている⁴⁾。

日立ソフトでは全事業部門を対象としたアプレイザルによる現状プロセス分析の実施、全社を挙げてのプロセス重視の開発とプロセスQAの実施、および上流工程での品質のつくり込みなどの改善活動を進めた結果、2001年以降に全事業部門でのCMMI成熟度レベル3達成、および産業システム事業部でのレベル5達成を実現した。また、2009年3月時点ではSEI公認リードアプレイザ5名、およびSEI公認CMMIインストラクタ4名を有し、社内の改善活動をさらに推進するとともに、これらの経験・ノウハウを改善コンサルティングサービスとして展開している。

2.2 株式会社日立情報制御ソリューションズの事例

株式会社日立情報制御ソリューションズ（以下、日立ICSと記す。）は、顧客の多様なニーズに応える「ハード・ソフトのワンストップソリューション」の提供をミッションに掲げ、長年にわたって自社組込みシステムの製品開発や大規模組込みソフトウェアの受託開発によって事業を展開してきた。

日立ICSは、ハードウェア開発技術、組込みソフトウェ

ア開発技術、LSI開発技術、画像応用技術など、組込みシステムを構成する主要な技術基盤を備えている強みがあり、これらの技術をさらに生かすために、自社の組込みシステム開発プロセスの改善を継続し、2006年には製造業向け情報制御ソリューションを担当する部門でCMMI成熟度レベル5を達成した。

一方、組込みソフトウェア開発を取り巻く環境の急速な変化は、さまざまな課題となって開発現場を悩ませてきた。

日立ICSでは、組込みシステム開発現場で直面した数多くの課題に対し、組込みソフトウェアのデバッグ支援ツール開発、独自開発の構成管理ツールへの組込みシステム製品向け機能追加、組込みシステム開発者向け教育カリキュラムの充実、派生開発手法の取り込みなどの開発技術導入やプロセスの改善を実施して、これらを克服してきた。

プロセス改善事例について以下に述べる。

(1) デバッグ支援ツール開発による効率向上

組込みソフトウェア開発では、複雑なタイミングで発生するトラブル解析に時間を要することが多く、開発期間短縮の隘（あい）路となっていた。実機を使ってのデバッグ時には、メモリ内容を直接参照してトレース情報を解析したり、トレース文をソースコードに埋め込んで動作順序を解析したりと、時間と労力を要していた。また、ソフトウェア規模の急速な増大により、ソフトウェアが複雑化し、システム全体の動きを把握することが困難になってきていた。

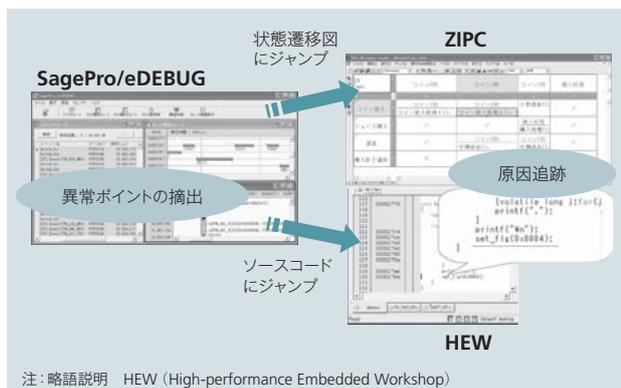
この問題を解決するため、実機上のトレース情報を基に、タスク動作の遷移や実行トレースなど、組込みソフトウェアの動作をグラフィカルなビューで表示するツールを独自に開発し、デバッグ効率を改善することとした（図3参照）。

このツールにより、これまでなら、解決に何日も要していたような微妙なタイミングにかかわるトラブルを数時間で解決できるようになり、自社の組込みシステムの製品開発の期間短縮に大きく貢献した。このツールは、



図3 日立ICSにおけるデバッグ支援ツール「SagePro/eDEBUG」の画面表示例

実機のトレース情報を基に、組込みソフトウェアの動作を視覚的に表示し、デバッグ効率を大幅に向上する。



注: 略語説明 HEW (High-performance Embedded Workshop)
図4 デバッグ支援ツール「SagePro/eDEBUG」と統合開発環境との連携
 トレース情報をクリックするだけで、状態遷移図やソースコードの該当個所にジャンプでき、デバッグ効率の向上を図ることができる。

「SagePro/eDEBUG」と名付けて製品化している。

また、さらなるデバッグ効率向上をめざして、このツールとキャッツ株式会社の開発支援用CASE (Computer-aided Software Engineering) ツール「ZIPC」^{※3)}や株式会社ルネサス テクノロジーの統合開発環境「High-performance Embedded Workshop (HEW)」との連携も行っている(図4参照)。

なお、社団法人組込みシステム技術協会 (JASA : Japan Embedded Systems Technology Association) が主催する2009年度の「ETロボコン」への技術協力の一環で、このツールを開発環境として提供することを予定しており、産学連携活動にも一役買っている。

(2) 派生開発手法の取り込み⁵⁾

組込みシステムは、多品種大量生産が特徴の一つであるが、ドキュメントやソースコードなどを新規に作成するのではなく、年度別、仕向け地別、メーカー別などの異なる製品を既存の資産を流用・改造して開発する、いわゆる「派生開発」が多い。

派生開発となるような製品開発を受託した際に、過去に開発したときのドキュメントなどが残っていない場合が多く、組込みソフトウェアの全体構造や処理内容を理解するために、ソースコードをよりどころにしなければならないケースが多かった。このようなケースでは、結局十分にソフトウェア構造や仕様を理解できないまま改造を行い、後工程で不具合が発生することもあり、そうしたプロジェクトの混乱を收拾するのは容易ではない。

この課題に対し、品質向上を図るために、要求仕様や変更仕様を漏れなく確実に実装するための手法として、派生開発手法を導入することとした。

派生開発手法は、「何を変更するか」、「どういう仕様に変更するか」を誰でも理解できるように変更・要求仕様書で

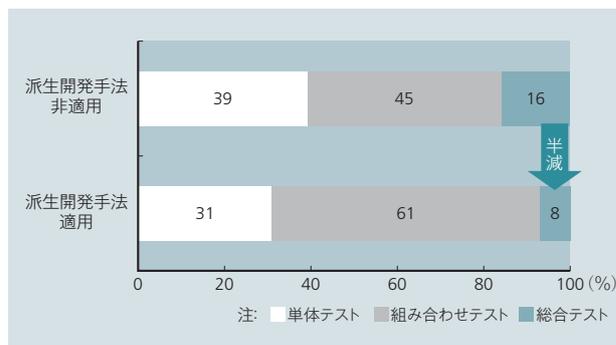


図5 日立ICSにおける派生開発手法導入の効果
 テストフェーズごとの不具合発生比率を比較すると総合テストフェーズでの比率が半減した (より上流フェーズで不具合抽出ができた)。

文書化し、「変更がどこにあるのか」をトレーサビリティマトリクスで明確にして、変更に対する対応策のインテグリティを確保する。さらに「具体的にどのように変更するのか」を関数レベルで変更設計書に明確化して、思い込みや勘違いを見つけることがポイントである。

これまで社内で適用していたソフトウェア開発プロセスでは、「具体的にどのように変更するのか」を重点にしていたが、この「派生開発」プロセスを組み込むことで、より強化することができた。

実際のプロジェクトで派生開発手法を組み込んだプロセスを実行してみたところ、派生開発手法を適用した開発の不具合発生率は、非適用開発に比べて約半分に減少した⁶⁾。特に、設計上流段階で仕様の反映漏れが抽出できたため、総合テスト段階での不具合発生比率も半減するなど、顕著な効果が得られた(図5参照)。

しかし、組込みソフトウェアの開発プロセスに関しては、まだ改善の余地が多く、産学連携活動を活用して新たな開発方法論を模索する活動も開始している。

3. 日立グループコーポレートSEPGのプロセス改善事例とその成果

日立グループでは、日立製作所各事業部門、日立グループ関連企業を含めた組織横断的な組込みシステム改革活動を推進している。

この改革活動では、関連各社から参画したメンバーによってコーポレートSEPGが編成され、組織の枠を越えた改善支援活動を展開している。

日立ソフトはこの改革活動に参画し、SEIパートナーとしてアプライザルを日立グループの組込み関連企業に実施し、CMMIモデルと現状のソフトウェア開発プロセスとのギャップを改善機会として洗い出し、自社内での組込み開発やプロセス改善活動の豊富な経験と知識、およびそのノウハウを最大限に活用して、体系的かつ計画的なプロセス改善支援コンサルティング活動を提供している。

※3) ZIPCは、キャッツ株式会社の登録商標である。

一方、日立ICSもこの改革活動に参画し、30年以上にわたり制御システムの開発に携わってきた経験や自社の組込みシステム製品開発から得られたさまざまな開発プロセスのノウハウを基に、日立グループの組込み関連企業に対してツール提供や改善活動支援など開発現場に密着した支援を行っている。

この改革活動において、日立ソフト、日立ICSがそれぞれプロセス改善支援を行い、具体的な成果を上げた改善事例について以下に述べる。

(1) 日立アプライアンス株式会社のプロセス改善事例

日立アプライアンス株式会社は、不具合原因分析などの現状プロセスの分析を実施し、仕様書の誤記・誤認やコーディングミスがプログラムの品質に大きくかかっていることから、モデルベース開発（プログラムよりも抽象度を高めた表現であるモデルを用いたソフトウェア開発）手法を取り入れ、その実現のために、モデル開発ツール ZIPC を導入した。ZIPCは、これまでの開発手法とは異なり、上流工程の仕様分析、構造設計に重点を置き、仕様のあいまいさを排除したうえで状態遷移表を設計し、そこからソースコードの自動生成を行うツールである。日立アプライアンス株式会社では、2007年発売の洗濯乾燥機の開発に ZIPC を初めて導入し、ソフトウェア開発におけるコーディングミスを従来から約48%削減し（図6参照）、さらに仕様分析・構造設計以降の再設計（手戻り）工数を約57%に削減するなど、大きな成果を上げている。

(2) 日立電線株式会社のプロセス改善事例

日立電線株式会社は、現状プロセス診断の結果を受けて、開発体制の見直しを含めた総合的なプロセス改善に取り組むと同時に、分科会活動などを通じ、ひとりひとりの参画意識を重視した改革を推進している。開発プロセスをマネジメント、エンジニアリングに分け、プロセス再定義によるプロセス重視の品質管理を実践し、品質の「見える化」、

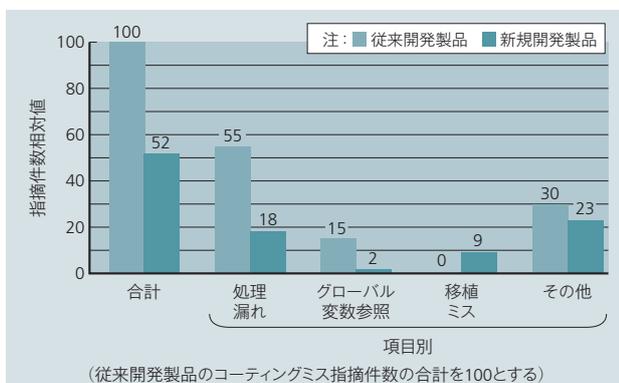


図6 日立アプライアンス株式会社におけるコーディングミス指摘件数の変化
従来開発製品に比べ、新規開発製品のコーディングミス指摘件数の合計は相対比約48%削減した。特に処理漏れについては相対比約67%削減し、大幅に改善していることがわかる。

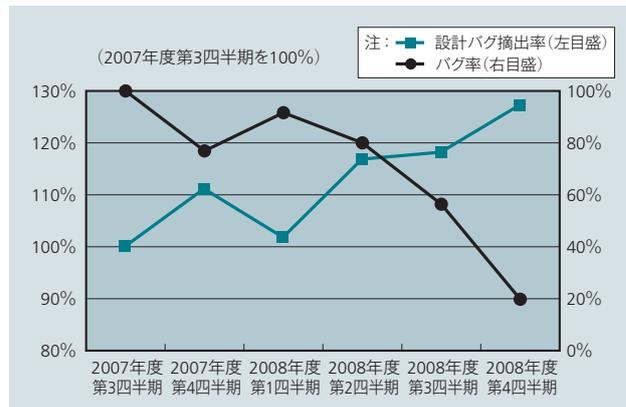


図7 日立電線株式会社における設計バグ検出率、バグ率の改善
2007年度第3四半期から2008年度第4四半期にかけて、設計バグ検出率（バグ総数に対する設計部署内バグ検出数の割合）、およびバグ率（開発規模に対するバグ数の割合）において、大きな改善が見られる。

レビュー徹底による不具合前倒し検出、および不具合傾向分析などに重点をおいて改善活動を行った結果、設計バグ検出率が前年比で約28%改善し、同時にバグ率も約79%の改善が見られ、大きな成果を上げている（図7参照）。

(3) 株式会社日立国際電気のプロセス改善事例

株式会社日立国際電気では、組織統合とソフトウェアの重要性が増したことから、2005年より「組込みシステム改革活動」を展開し、業務プロセスの改革を実施している。プロジェクト管理ツール「SagePro/PM」による工程、進捗（ちよく）の「見える化」を図ったほか、設計部門へのツール適用の徹底や組織の実態に合わせたカスタマイズを中心に改善を実施した。生産基幹システムとの連携、ツール操作・運用教育、SagePro/PMの案件管理強化機能アドオンなどの改善を実施した結果、進捗管理精度の向上やソフトウェア開発部門でのプロジェクト管理の定着化を図ることができた。

4. プロセス改善コンサルティングサービス

4.1 日立ソフトの提供するコンサルティングサービス

日立ソフトは、自社、および日立グループでのプロセス改善活動支援を通して培った豊富な知識・経験を基に、顧客向けプロセス改善コンサルティングサービスを提供している。

主なサービスメニューとしては、現状プロセス診断の実施、および成熟度レベル判定を伴うアプレイザルサービスの提供、開発経験やプロセス改善経験を持ったコンサルタント、SEPGメンバー、プロセスQA担当者、プロジェクトマネジメント担当者などによる現地密着型プロセス改善コンサルティングサービスの提供のほか、SEI公認CMMI入門コースをはじめ、自社での実践ノウハウを盛り込んだピアレビュー技法教育、品質保証活動の事例を多く含んだ品質教育およびプロセスQA教育など、豊富な教育サービ

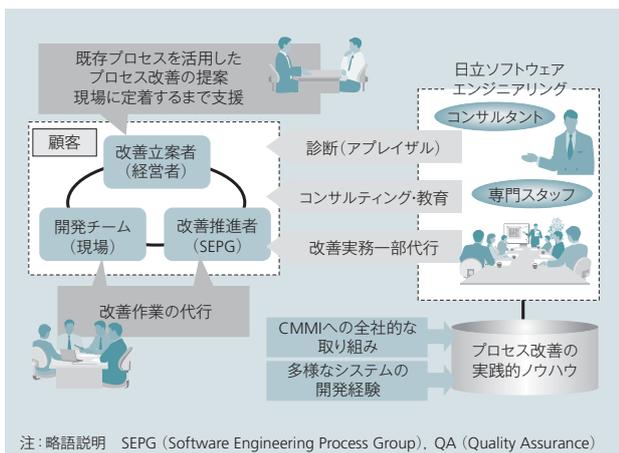


図8 日立ソフトのプロセス改善コンサルティングサービス

SEIパートナー企業として、アプライザル・プロセス診断サービス、プロセス定着支援サービス、SEPG・プロセスQA支援サービス、教育サービスなど顧客向けCMMIプロセス改善コンサルティングサービスを展開している。

スを提供している。さらには、多くの導入経験・実績を持つCASEツールaWCやモデル開発ツールZIPCをはじめ、要件管理・構成管理ツールなどの導入・支援サービスも提供している(図8参照)。

4.2 日立ICSの提供するコンサルティングサービス

日立ICSは、自社の組込み製品開発で培ったノウハウを盛り込んだ、プロジェクト管理や資産管理向けの自社開発ツール「SageProシリーズ」を顧客のプロセス改善施策具体策として提案・提供している。

これらのツール導入に際し、組織への教育や運用のコンサルティングサービスを展開しているほか、自社開発の強みを生かして、顧客の実態に合わせてカスタマイズも行っている。さらに、プロセス改善チームの一員として、現場に密着した改善支援サービスも提供している。

5. おわりに

ここでは、CMMIモデル、および独自開発ツールの活用による日立グループでのプロセス改善活動事例、および定量データによる改善効果について述べた。

組込みシステム製品におけるソフトウェア開発の重要性が高まる中、低価格、短納期で高品質な組込み製品を提供することが、これまで以上に求められている。このような状況下において、プロセスを重視したソフトウェア開発プロセス改善活動の成否は、企業の存続を左右するといっても過言ではない。

日立グループのSEI公認リードアプライザ6名(2009年3月現在)は、国内最多資格保持者数であり、CMMIモデルを活用したプロセス改善活動に積極的に取り組み、その豊富な経験と知識を基に多くの企業に改善のノウハウを提供し、組込みシステム製品の開発を支援している。組込み

システム製品が快適な生活を支えていくために、日立グループは今後も積極的かつ継続的な取り組みを進めていく考えである。

参考文献など

- 1) SEI, CMMI, <http://www.sei.cmu.edu/cmmi/index.html>
- 2) SEI, IDEALモデル, <http://www.sei.cmu.edu/ideal/index.html>
- 3) SEI, SCAMPIアプライザル, <http://www.sei.cmu.edu/cmmi/appraisals/index.html>
- 4) 小室, 外: 開発現場の実態に基づいたピアレビュー手法改善と改善効果の定量的分析, SEC journal創刊記念論文(2005.2)
- 5) 清水: 「派生開発」を成功させるプロセス改善の技術と極意, 技術評論社(2007.10)
- 6) 桜庭, 外: ソフトウェア生産性実績データの分析と活用事例, ソフトウェアプロセスエンジニアリングシンポジウム2008(2008.7)

執筆者紹介



新海 良一

1988年日立ソフトウェアエンジニアリング株式会社入社,エンベデッドシステム事業部 所属
現在, CMMIコンサルティングサービスに従事
SEI公認リードアプライザ, CMMI入門コースインストラクタ



日井 孝雄

1977年日立ソフトウェアエンジニアリング株式会社入社,エンベデッドシステム事業部 所属
現在, CMMIコンサルティングサービスに従事
SEI公認リードアプライザ, CMMI入門コースインストラクタ



桜庭 恒一郎

1978年株式会社日立情報制御ソリューションズ入社, 業務サポート本部 生産技術部 所属
現在, ソフトウェア開発プロセス改善に従事
情報処理学会会員, プロジェクトマネジメント学会会員



飯島 三朗

1982年株式会社日立情報制御ソリューションズ入社, 組込みシステム本部 プラットフォームソリューション部 所属
現在, 組込みシステム開発に従事
技術士(情報工学部門)
情報処理学会会員