



次期製品開発における単体テストに VectorCAST を導入

— 連続的な挙動を検証する「時系列テスト」にも活用 —

小松製作所は、建機のコントローラソフトウェアの開発言語を C 言語から C++ 言語に変更したことに伴い、単体テストツールとしてベクターの「VectorCAST」を導入しました。VectorCAST のコンパウンドテスト機能を活用し、フィルター処理のような連続した挙動を検証する「時系列テスト」も実施しています。

ドローンや ICT* 建機を使って自動整地を実現する コマツのスマートコンストラクション

*Information and Communication Technology

世界的な建機メーカーである小松製作所（以下、コマツ）は、ショベル、ブルドーザ、ホイールローダ、フォークリフト、さらには鉱山で使われる超大型のダンプトラックなど、幅広い製品をグローバルに提供しています。

同社が 2015 年 2 月から取り組んでいるのが「スマートコンストラクション」です。建設プロセスの全工程をデジタルでつなぎ、ドローンによる高精度な 3 次元測量、3D 設計データ作成、情報通信技術を取り入れた ICT 建機を使った自動整地、および施工管理などをパッケージ化したソリューションです。

整地作業において、従来は熟練したオペレーターが 2 つのレバーで操作していたバケットの刃先の高さや角度を、ドローンで測量した 3D 設計データや GNSS で取得した自車位置に基づいて自動的に制御することで、作業時間の大幅な短縮と仕上げ



図 1. スマートコンストラクションに対応したコマツの ICT 油圧ショベル「PC-200i」

精度の大幅な向上を実現。オペレーターは画面に表示される図面を見ながら1つのレバーで操作するだけでよく、高い技能を持っていなくても作業に従事できます。

背景にあるのが土木業界の深刻な労働力不足です。ベテランの高齢化に伴う大量離職も一因に、近い将来、必要な労働者数と実際の労働者数の間に大きなギャップが生まれることは確実とされており、施工作業の効率化が急務となっているからです。国も建設現場の生産性革命を目指す「i-Construction」を2016年4月に掲げ、ICT施行の拡大を推進しています。コマツのスマートコンストラクションはその先駆けとなる取り組みと言えます。

2018 年に開発言語を C言語からC++言語に移行

スマートコンストラクションに対応した ICT 建機を筆頭に、同社では重機の自動化や自律化に取り組んでいます。一般の乗用車においてレベル 2 やレベル 3 といった自動運転機能の実用化を進めていくのと等価であり、将来的にコントローラ (ECU) ソフトウェアの開発工数およびテスト工数の増大が見込まれていました。

そうした課題を踏まえて、同社の次期製品の開発では、コントローラソフトウェアの開発言語を、それまでの C 言語から、オブジェクト指向型の C++ 言語に変更しました。「古くからの経緯もあって、コントローラ用ソフトウェアの開発には C 言語を用いてきましたが、次期製品の開発を機に、オブジェクト指向設計に向いている C++ 言語に一本化することにしました」と、開発本部 ICT システム開発センタ 基盤技術グループ 開発インフラチーム エキスパートエンジニアの角玄 涼氏は理由を説明します。

C++ 言語にも対応したベクターの VectorCAST を 単体テストツールとして新規導入

開発言語の変更に伴ってツール環境の見直しが行われました。それまで使用していた単体テストツールはC言語だけではなくC++言語にも対応していたものの、C++言語で使用した場合にいくつかの制約が生じることが判明したためです。

また、スタブを自動生成した際に、生成される変数名が分かりにくく、可読性が悪いといった課題もありました。

いくつかのソリューションを検討した中で採用したのが、ベクターの単体テスト自動化ツール「VectorCAST」でした（図 2）。「当然ですが、まず C++ 言語に対応していることが採用理由のひとつです。併せて、ユーザーインターフェイスが分かりやすいことも評価しました」と角玄氏は説明します。テストの自動化に対応していたことも将来に向けたポイントになったそうです。さらに、自動生成される変数名の可読性にも問題はないとの判断でした。

さらに同社開発本部 ICT システム開発センタ 基盤技術グループ 開発インフラチーム エキスパートエンジニアの大槻 一晶氏は、ベクター・ジャパンの充実したサポートも評価したと述べています。「ツールの導入時は使い方の習得を含め立ち上げに苦労することも多く、ベンダーのサポートはきわめて重要です。今回の選定に際して、ベクター・ジャパンがきちんとサポートしてくれたおかげで、VectorCAST を実際に動かして事前に評価することができました。別のベンダーのツールも検討はしましたが、そういったサポートはなく、実際の評価にまで至りませんでした」（大槻氏）。

ベクターのテストソリューション - すべてのテストフェーズに対応

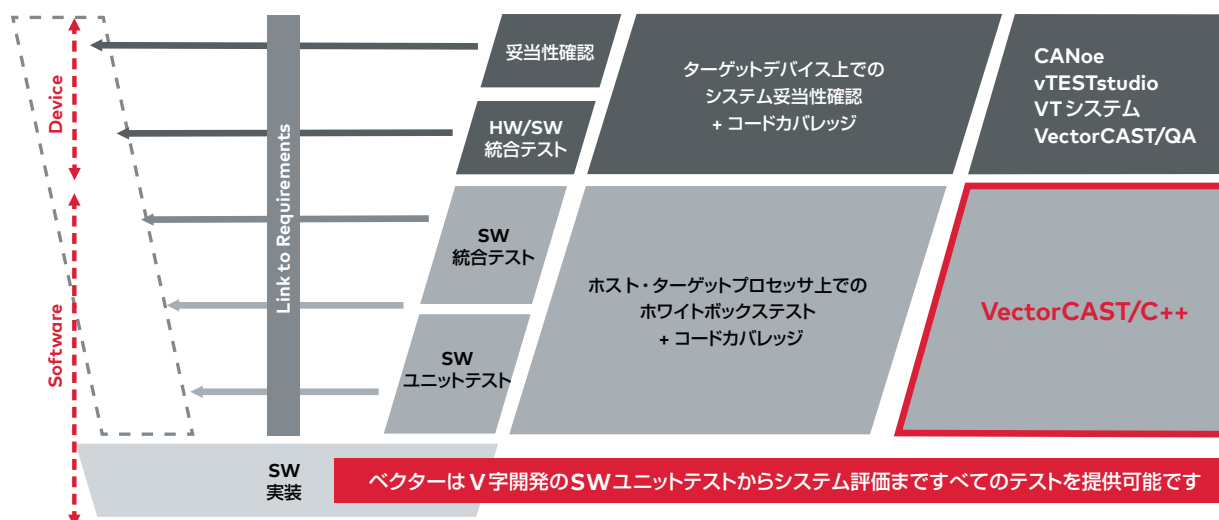


図 2. V 字モデルと単体テスト自動化ツール「VectorCAST」。単体テストのほか結合テストにも活用できる

300 から 500 モジュールを対象に VectorCAST で単体テストを実施

VectorCAST は開発中の油圧ショベルおよびホイールローダの単体テストに適用されています。

テスト対象のモジュール(アプリケーション)数はおおよそ 300 で、1 モジュールが基本的に 1 クラスに相当し、それぞれ 1~3 個程度の関数で構成されます。各モジュールはそれぞれ VectorCAST のプロジェクトとして定義されています。将来はミドルウェアの単体テストも VectorCAST で実施する予定で、アプリケーションと合わせ、トータルで 400 ~ 500 モジュールになる見込みです。テストケース数は、小規模なモジュールでは 10 程度ですが、やや規模の大きいモジュールでは 100 を超える場合もあります。

VectorCAST は、ツール上の専用 GUI を使って、効率的なテスト設計が可能なツールですが、CSV ファイルの取り込み機能も有しています。コマツでは GUI と、CSV ファイルの取り込み機能を並行して使いながら検証を行っています(図 3)。

コンパウンドテスト機能を活用して モジュール出力の時間変化を検証

コマツではモジュールの「時系列テスト」にも取り組んでいます。「建機に搭載したセンサーの出力に対して、フィルター処理や積分処理を行うモジュールがいくつか存在します。それらの連続的な挙動は、従来は HILS を用いた統合テストの一環として実施してきましたが、単体テストフェーズに前倒しできないかと考え

ました」と、同社開発本部 システム開発センタ 基盤技術グループの前田 和典氏は説明します。

時系列テストの概要を図 4 に示します。対象となるアプリケーションモジュールに対して、車両に搭載されているセンサー出力を模擬した正弦波と、1 つ前のサイクル(実機では 10ms)の出力(戻り値)を入力として繰り返し与えながら、仕様どおりの特性の出力が得られるかを確認するという流れです。

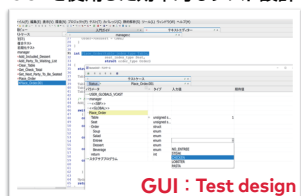
テストケースを繰り返し実行するために使用した機能が、1 回の実行で複数のテストケースを実行することができる VectorCAST の「コンパウンドテスト(複合テスト)」です。

VectorCAST における単体テストは、テスト対象の関数に対して作成したテストケースを 1 回だけ実行し、そのときの入力値と出力値を確認します。テスト完了ごとに変数はクリアされるため、テストの出力値を次の単体テストへ引き継ぐようなことはできません。一方、1 つのテストケースを複数回繰り返したり、複数のテストケースを組み合わせることで結合テストのようにテストを実行したりしたい場合に利用できるのが、コンパウンドテストです。コンパウンドテストには、スタティック変数を保持したまま組み合わせテストが実行できる特長があるため、これを利用すると前回の出力値を今回の入力値に使用できるようになり、時系列テストを実現することができます。

「時系列テストを必要とするモジュールはそれほど多くありませんが、これまでは統合テストで挙動を確認していたのが単体テストで確認できるようになり、テスト効率が向上しました。これからもこういった工夫を通じてテストの前倒しと品質の作り込みに取り組んでいきたいと考えています」と前田氏は述べています。

テスト設計用 GUI と CSV ファイルのインポート/エクスポート機能

GUI を使用した効率的なテスト設計



VectorCAST で CSV ファイルの読み込みが可能

B	C	D
input	Input	Expected
manager	manager	manager
place_order	Place_Order	Place_Order
unsigned short	Seat	int
1	1	1
1	1	5
2	3	10

テストケース	入力値	期待値
test_case_001	1	1
test_case_002	1	5
test_case_003	2	10



VectorCAST のテストレポートから CSV 出力も可能

イベント	種類	戻り値
イベント 1 - Calling Place_Order	Table	unsigned short 1
イベント 2 - Stubbed Get_Table_Record	Table	unsigned short 1
イベント 3 - Stubbed Update_Table_Record	Table	unsigned short 1
イベント 4 - Returned from Place_Order	Table	unsigned short 1

C	D	E	F
component	data_label	actual value	expected value
place_order	manager.Place_Order.Table	1	1
place_order	manager.Place_Order.Seat	1	1
place_order	manager.Place_Order.return	0	0
table_record	table_record	1	1
table_record	manager.Place_Order.Table	1	1
table_record	manager.Place_Order.Seat	1	1
table_record	manager.Place_Order.return	0	0

テスト実行結果を出力

図 3. VectorCAST における CSV フォーマットでのテストデータのインポート、および出力結果のエクスポート機能の概要

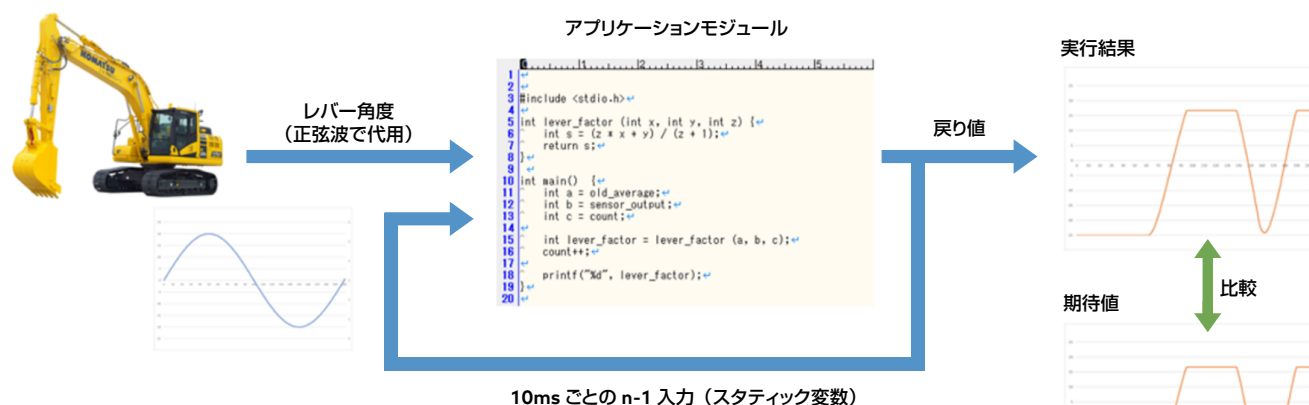


図 4. コマツが VectorCAST を使って実施している時系列テストの概要。

アプリケーションモジュールの戻り値をスタティック変数として保持して次の実行に与えることで、連続的な挙動を把握する (コマツの情報を基にベクター・ジャパンにて作図)

コントローラソフトウェアのテストの効率化を目指すコマツ 単体テストの自動化にも取り組む

コマツでは今後、リグレッションテストの結果判定などの自動化を含め、単体テストのさらなる自動化や効率化に取り組んでいく意向です。なお、VectorCAST には Jenkins をサポートするためのプラグインが無償で提供されているほか、コマンドラインから VectorCAST のすべての機能を制御することもできます。ベクターでは、同社の意向に沿った自動化の実現手段を提案していきます。

「ベクターのサポートも受けながら、VectorCAST が持つ豊富な機能をさらに活用して、単体テストの効率化を図っていきたいと考えています。これからも充実したサポートを期待しています」と大槻氏は述べています。

コマツは、新しい機種のコントローラソフトウェアのテストの効率化を図るとともに、スマートコンストラクションを通じて建設業界の課題に取り組んでいく考えです。ベクターは引き続きコマツの取り組みをサポートしていきます。

画像提供元：

図 1、4：コマツ

表紙画像、図 2、3：ベクター・ジャパン株式会社

記載されている会社名、製品名は、各社の商標または登録商標です。

所属、役職、諸元、ソリューション名などは、2022 年 9 月時点の情報です。

■ 本件に関するお問い合わせ先

ベクター・ジャパン株式会社 営業部

(東京) TEL: 03-4586-1808 (名古屋) TEL: 052-770-7180

E-mail: sales@jp.vector.com