

## Javaによる組み込みソフトウェア教育の研究

著者	鶴沢 偉伸, 神園 和秀, 飯村 伊智郎, 中山 茂
雑誌名	研究論文集 - 教育系・文系の九州地区国立大学間連携論文集
巻	3
号	1
別言語のタイトル	Study of Embedded Software Education Using Java Program
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10232/00007318">http://hdl.handle.net/10232/00007318</a>

# Javaによる組み込みソフトウェア教育の研究

鶴沢 偉伸\*    神園 和秀\*\*    飯村 伊智郎\*\*\*    中山 茂\*\*

## Study of Embedded Software Education Using Java Program

Hidenobu TSURUSAWA, Kazuhide KAMIZONO, Ichiro IIMURA, Shigeru NAKAYAMA

Ministry of Economy, Trade and Industry has continuously researched the market of embedded software since 2003. The reports indicate that the market has been growing bigger and bigger year after year and it is necessary to increase engineers of embedded software. Because the engineers are very few now, it is necessary to educate many engineers without delay. Popularization of the Internet changes environment of embedded software implementation. C language and assemble language are used to develop embedded software until now. Since some board computers with Java processor have been appeared, processing speed of Java language is improved and it is possible to develop embedded software with Java language. Java language is used to develop many Web systems and there are now many engineers of Java language. Then we select one of Java board computers and research the usage of both gathering data through RS-232C and transmitting data through Ethernet. This paper shows one of education programs for the engineers of embedded software who will take an active part in the information culture society in the future.

**Keywords: embedded software, single board computer, Java language, engineer education**

### 1. はじめに

コンピュータの小型化と低価格化が進むにつれて、家庭電化製品をはじめとして様々な分野でコンピュータを組み込んだ情報家電製品が増えている。組み込みコンピュータを使って機能を実現するためにはソフトウェアの開発が必要であるが、ハードウェアと一体化しているため、汎用性が低く製品に特化したソフトウェアになる。そのため、新しく製品を開発するたびにソフトウェアを開発しなければな

らないが、製品の開発期間は短くなる一方である。

経済産業省では産業界の実態を把握するために、2003年度より組み込みソフトウェアに係る調査を毎年行い、調査結果を報告書として公表している<sup>1)</sup>。この報告書によると、推定の組み込みソフトウェア開発規模は2005年版で約2兆4100億円だったものが、2009年版では約4兆2100億円へと急拡大している。また、規模の拡大だけでなく、ソフトウェア品質の二極化とスキルの高い技術者の不足が課題として浮かび上がって来ている。

これまで組み込みソフトウェアはC言語による開発が主流で、技術者不足を改善するためにソフトウェア教育の研究も行われている<sup>2) - 3)</sup>。今後、高機能化に伴って開発規模が拡大し、開発期間の短縮が要求されることを考えると、組み込みソフトウェア技

---

\* 大分工業高等専門学校制御情報工学科

\*\* 鹿児島大学工学部情報工学科

\*\*\* 熊本県立大学総合管理学部総合管理学科

術者の育成が急務である。最近のソフトウェア開発はオブジェクト指向言語の C++や Java へと移行が図られているが、組み込みソフトウェアはこれから移行が進むと予想される<sup>4) - 5)</sup>。インターネットの普及によりソフトウェア開発の言語に Java が広く使われるようになり、Java のソフトウェア技術者が増え、スキルの高い技術者も育っている。Java で組み込みソフトウェアを開発できれば、課題となっている技術者不足の解決策になるが、Java は主に Windows や Linux などの OS を搭載したコンピュータで使われて来たため、そのまま組み込みソフトウェアの開発に応用することは難しい。最近では Java プログラムをハードウェアで実行できる Java プロセッサを搭載したボードコンピュータ (Embedded Java Board Computer : EJBC) が登場し、このボードコンピュータを使って Java による組み込みソフトウェアを実装できる環境が整って来た。

今後、Java による組み込みソフトウェアの開発が進むためには組み込みソフトウェアの教育を充実させる必要があるため、本研究では EJBC を使って Java による組み込みソフトウェアの技術についての検証し、組み込みソフトウェア技術者のための教育プログラムの一案について具体的事例を挙げて説明する。

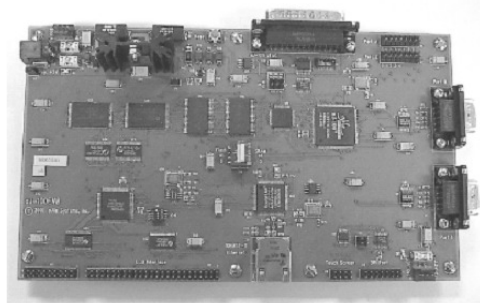


図1 ボードコンピュータ aJ-100EVB

表 1 aJ-100EVB の機能概要

機能	概要
プロセッサ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・aJ-100 (32ビット 100MHz, 消費電力 1mW/MHz以下)</li> <li>・Java バイトコードを直接実行</li> <li>・2つの独立したJVMをサポート</li> <li>・ハードウェアによるスレッドサポート (切替1μsec以下)</li> </ul>
メモリ	SRAM 1MB, Flash 4MB
シリアル通信	RS-232C 2本
ネットワーク	Ethernet 10Base-T 1本
入出力	汎用入出力 5本
デバッグ	パラレルポート接続によるPC用デバッグ

## 2. Java ボードコンピュータ

### 2.1 機能仕様の概要

これまで Java プログラムは CPU に実行環境のソフトウェア JVM (Java Virtual Machine) を実装して実行されている。そのため、Java は OS などの環境に依存しないで色々なコンピュータでそのまま実行できるが、処理速度が遅くなってしまうことから、組み込みソフトウェアの開発で利用されることが少なかった。携帯電話の普及により携帯電話機で Java プログラムを実行できる環境が要望され、Java プログラムをそのまま実行できるハードウェア環境が整ってきた。汎用 CPU と OS で実行するのではなく、Java プログラムだけを実行する Java プロセッサの開発が進み、そのプロセッサを搭載した EJBC が製品化されている。

aJile Systems 社 (<http://www.ajile.com>) が開発した Java プロセッサに aJ-100 があり、このプロセッサを使った aJ-100EVB の製品を図 1 に、機能概要を表 1 に示す。この製品は、Java プログラムをプロセッサで直接実行するので高速な処理が実現でき、計測機器とのシリアル通信用に RS-232C が 2 本装備されており、2 台の計測機器を制御することができる。また、Ethernet (10BASE-T) が用意されており、LAN (Local Area Network) に接続してネットワークの環境を利用して様々なシステムが構築できる。

## 2.2 RS-232C による通信

本 EJBC に装備している RS-232C を使って計測機器と情報通信が可能である。本研究では、計測機器に温度プローブを装着したテスターを RS-232C で接続し、時々刻々と変化する温度情報を取り込む処理で検証している。RS-232C で通信できる機器は多いため、この他に様々な機器を接続した教育も可能であり、Java による組み込みソフトウェアで計測機器を制御する教育が行える。

## 2.3 Ethernet による通信

10BASE-T の Ethernet が装備されているので、本 EJBC をネットワークへ接続し、通信速度 10Mbps で TCP/IP によるネットワーク通信を行うことができる。この機能を使って、Java による組み込みソフトウェアでネットワークを利用したシステム構築の教育が行える。なお、TCP/IP 通信でサポートされている機能は以下の通りである。

### (1) SNTP による時刻調整

本 EJBC の内部時計は電源投入時にリセットされるため、その都度、時刻の設定が必要になる。毎回、ユーザが設定する代わりに SNTP プロトコルにより指定されているサーバより時刻情報を得て自動的に設定することができる。

### (2) 電子メールの送信

本 EJBC から指定されたメールアドレスへ SMTP プロトコルで電子メールを送信できるため、計測機器の異常などを電子メールで通知する機能を実装できる。

### (3) HTTP サービス (Web サーバ)

本 EJBC は、Web サーバとブラウザ間で利用される HTTP プロトコルのうち、ブラウザがサーバへホームページの情報を要求するときに使われる GET コマンドに対応している。本体そのものが Web サーバとなり、クライアントがネットワークを介して情報を要求すると、保持データの配列をテキスト形式で返す。

### (4) TELNET サービス

パソコンなどから aJ-100EVB へ接続して遠隔操作を行うことができるように、TELNET サービスを実装している。したがって、本 EJBC への操作をネットワークに接続したパソコンなどで行うことができる。

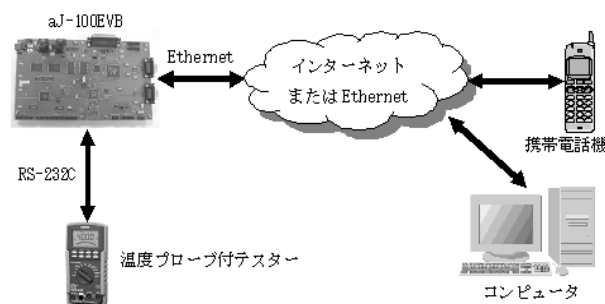


図2 二層構造システムの遠隔計測システム

## 3. 組み込みソフトウェアの教育

### 3.1 二層構造による遠隔計測システム

最近では組み込みソフトウェアの応用分野が広がり、従来の接続機器の制御やデータの計測を行うだけでなく、ネットワーク環境を利用した総合的なシステムへと移行しつつある。そこで、EJBC と計測機器を接続したデータ収集を1つのデータ収集層とし、利用者端末によるデータ閲覧をもう1つのデータ閲覧層とした二層構造システムについて検証を行う。

データ収集層では計測機器に温度プローブを装着したテスターを使い、RS-232C で EJBC に接続する。テスターで計測した温度データを EJBC の組み込みソフトウェアでメモリに格納し、ネットワーク通信を使って要求に応じて利用者端末へ送信する。データ閲覧層の利用者端末には、PC (Personal Computer) や携帯電話機などのブラウザで HTTP サービスが使用できる機器が使用できる。本研究では PC と携帯電話機を使って検証を行う。ただし、携帯電話機は実機を使用せず、PC 上で携帯電話機エミュレータのソフトウェアを利用する。二層構造のシステム構成を図2に、それぞれの利用者端末で取得した温度データの表示画面を図3に示す。

### 3.2 三層構造による遠隔計測システム

本 EJBC のメモリが多くないことから、温度データを EJBC に長時間蓄えておくことができない。二層構造システムでは Ethernet を利用してリアルタイムで温度データを提供するシステムの構築には

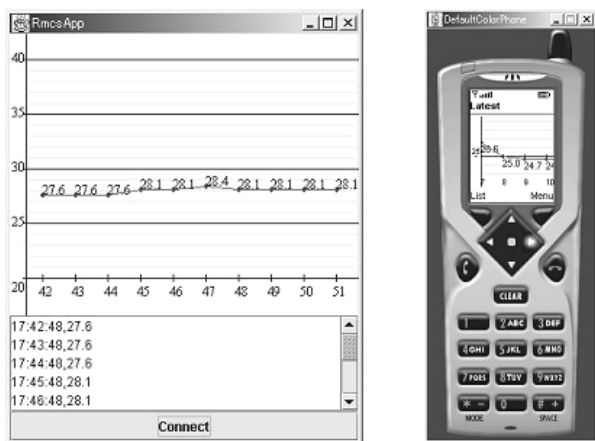


図3 二層構造システムの表示画面

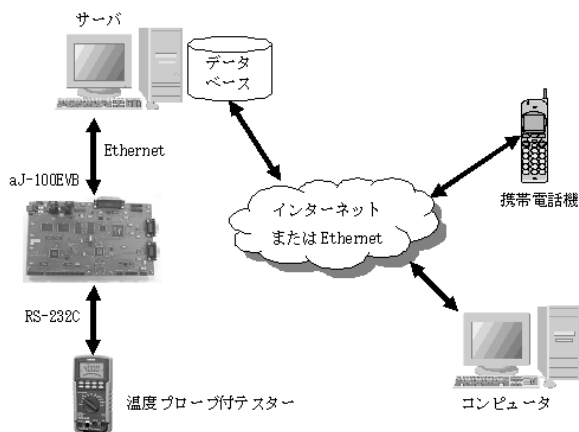


図4 三層構造の遠隔計測システム

十分であるが、過去の温度データをいつでも提供できるシステムには向かない。そこで、温度データをデータベース化し、過去の温度データをいつでも見ることができるように、二階層構造システムのデータ収集層とデータ閲覧層の間にデータベース層を追加した三層構造システムで検証を行う。三層構造システムの構成を図4に示す。本EJBCの組込みソフトウェアで取得した温度データをサーバへ送り、サーバ上でサブレットによりデータベースを構築する。利用者端末からいつでもサーバにアクセスして、データベースに蓄えられた温度データを取得する機能を実装する。将来、データベースの温度データを処理する機能を付加して、追加機能を実装す



図5 三層構造システムの表示画面

ることも可能になる。

データベースより温度データを取得する処理はPCと携帯電話機を使って検証する。三層構造でも二層構造と同様に、携帯電話機は実機の代わりにPCの携帯電話機エミュレータを使う。それぞれの表示画面を図5に示す。利用者端末で表示を開始する温度データの日時を入力すると、ネットワークでサーバへアクセスし、その時刻以降の温度データを取得して利用者端末の画面に表示する。

## 4. 組込みソフトウェア教育の導入

### 4.1 二層構造システムによる教育

二層構造システムによる組込みソフトウェアの教育環境を図6に示す。本研究では、計測機器として温度プローブ付テスターをRS-232CにてEJBCと接続し、EJBCの組込みソフトウェアでメモリにデータを収集している。この構成は、データ量が少ない計測機器を使ったシステムを構築する組込みソ

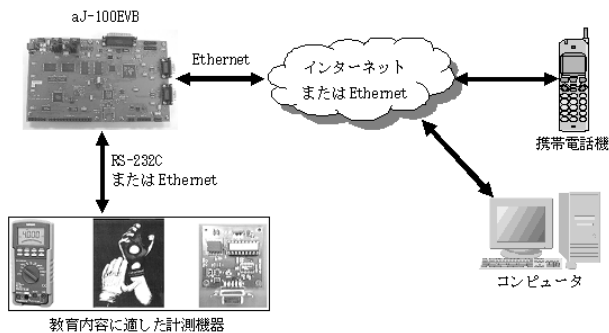


図 6 二層構造による教育システムの構成

ソフトウェアの教育を行うことができる。この教育では以下の機能を Java で実装する技術を学習させる。また、RS-232C の代わりに Ethernet で接続する計測機器を使うことで、ネットワーク経由でデータを収集する技術を学習させることもできる。

- (1) SNMP プロトコルを使ってサーバより時刻情報を取得し、EJBC の時計に最新時刻を設定する。
- (2) 計測に異常が検知されたとき、指定されたメールアドレスへメールを送り、異常を知らせる。
- (3) RS-232C で接続した計測機器と通信を行い、定期的にデータを収集してメモリに保存する。但し、計測機器により通信データのフォーマットや計測値の内容が異なる。
- (4) 利用者端末からのデータ要求に対して、HTTP サービスの GET コマンドを使って保存データを送信する。

#### 4.2 三層構造システムによる教育

三層構造システムによる組込みソフトウェアの教育環境を図 7 に示す。二層構造システムでは基本的な組込みソフトウェアの実装技術は教育できるが、データ量が多い計測機器を使ったシステムや過去のデータを提供するための総合的なシステムには向かない。そこで、データベースを追加した三層構造システムで実装技術の教育が必要となる。EJBC の組込みソフトウェアで実装する機能は二層構造システムと一部異なり、以下の通りになる。ここでは、SQL 文を使ってデータベースへのアクセスを実装する教育が不可欠である。

- (1) 前記の二層構造システムの(1)項と同じ。

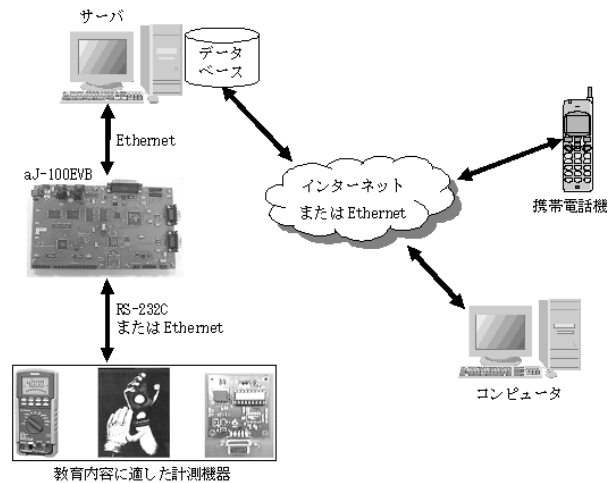


図 7 三層構造による教育システムの構成

- (2) 前記の二層構造システムの(2)項と同じ。
- (3) RS-232C で接続した計測機器と通信を行い、定期的にデータを収集してサーバのデータベースを更新する。

さらに、サーバにデータベースを構築し、利用者端末からの要求に応える機能を実装するためには、サーバ上に実装する機能の教育が必要になる。サーバに関する教育で、以下の技術を学習させる。

- (1) 管理するデータに適合したデータベースを設計する。
- (2) 利用者端末からのデータ要求に対して、サブレットでデータベースへアクセスし、利用者端末へデータを提供する。

本研究では、携帯電話機の機能は実機を使わずに携帯電話機エミュレータで検証しているため、エミュレータを使った環境での開発技術も必要である。携帯電話機は通信会社や機種に依存する機能があるため、機種に依存しないように注意して携帯電話機が持つ基本的な機能で実装する。

以上のことを踏まえ、半年間で三層構造システムの組込みソフトウェアを教育するモデルとしては、表 2 に示すようなプログラムが考えられる。教育スケジュールに余裕があれば、実習の時間を増やして理解度を高め、実践的な指導を行うことが望ましい。

表 2 三層構造システムの教育内容

コマ数	教育テーマ	指導内容
2	データベース設計	テーブル設計やフィールド設定などのデータベースに関する基礎技術を学習し、実習で確認する。
2	SQL言語	データベースの管理方法やアクセス法に関する基礎技術を学習し、実習で確認する。
2	シリアル通信	代表的な機器を RS-232C で接続し、その制御を実習で確認する。
2	ネットワーク通信	Ethernet に接続し、計測データをサーバへ通信する処理を実習で確認する。
2	データ計測	シリアル通信機能を利用してデータを計測し、管理する処理を実習で確認する。
2	携帯電話機 エミュレータ	エミュレータを使ったソフトウェアの開発環境を実習で確認する。
2	携帯電話機通信	実機の携帯電話機を使ったブラウザによる HTTP 通信処理を実習で確認する。

(注) 1 コマは 90 分程度を想定している。

## 5. おわりに

ボードコンピュータが様々な分野で応用されるに伴い、組込みソフトウェアの需要はますます増えるため、技術者不足がさらに進み、技術者の育成が急がれる。これまでは C 言語により組込みソフトウェアを開発しているが、オブジェクト指向を用いて開発の効率化を図るためにはオブジェクト指向言語 C++ や Java の採用が期待される。すでに Java は多くの技術者が育っており、Java で組込みソフトウェアを開発すれば技術者不足のひとつの解決策になる。Java をそのまま実行できるプロセッサが出現し、Java ボードコンピュータが開発されたことで、Java で組込みソフトウェアを実装する環境が整ってきた。これまで Java は主に Web アプリケーションの開発に使われており、組込みソフトウェアへの応用はこれからである。今後、Java ボードコンピュータを使った組込みソフトウェアの開発を進めるためには、Java による組込みソフトウェアの教育が必要であり、その結果として技術者不足の改善が期待できる。本研究で示した Java による組込みソフトウェア技術者の教育プログラムを実施して、組込みソフトウェアの技術者教育を行い、教育プログラムの評価方法についても今後検討する。

## 参考文献

- 1) 経済産業省商務情報制作局情報政策ユニット情報処理振興課：2009 年版組込みソフトウェア産業実態調査報告書，経済産業省(2009)。
- 2) 山本雅基，阿草清滋，間瀬健二，高田広章，河口信夫，富山宏之，本田晋也，金子伸幸：社会人組込みソフトウェア技術者教育におけるスキル育成，日本工学教育協会論文誌 vol. 54 no. 5, pp. 49-54(2006)。
- 3) 山本雅基，河口信夫，阿草清滋，間瀬健二，高田広章，富山宏之，本田晋也，金子伸幸：社会人に対する組込みソフトウェア技術の再教育の取り組み，電気学会論文誌 A vol. 126 no. 7, pp. 563-569(2006)。
- 4) CQ 出版社：Interface 2000 年 12 月号，特集 試しながら学ぶ組込み Java, pp. 68-140(2000)。
- 5) 五味弘，鈴木寿郎，鈴木剛，小川浩司：組込み Java プログラミング入門，ソフトリサーチセンター(2008)。