

# 軽量コンセプトによる教育用マイコン ボードと学習環境の開発

横山 博哲<sup>†</sup> 神村 伸一<sup>†</sup>

我々は初心者向けの教育用小型マイコンボードの開発過程において、マイコンボードの試作を重ねながら、教育用のマイコンボードの手軽さとは何かを検討・考察し、それを軽量コンセプトとしてまとめた。この軽量コンセプトに基づき、教授者も学習者も手軽に扱える教育用小型マイコンボードを開発した。同時に教育用小型マイコンボードを活用したマイコン組立て教室などイベントの実践を経て、学習環境の開発を試みた。今回は軽量コンセプトに基づいた教育用小型マイコンボードの仕様と特長を述べ、この教育用小型マイコンボードを活用した学習環境について報告する。

## Development of tiny microcomputer board for education by a light-weight concept with programming environment for learning

Hiroaki Yokoyama<sup>†</sup> Shinichi Kamimura<sup>†</sup>

We developed a tiny microcomputer board for education by design light-weight concept. Light-weight concept means minimum requirement for a tiny microcomputer board. And We designed programming environment for learning. In this paper, we report doing that how to make a tiny microcomputer board, and programming environment for learner.

### 1. はじめに

現在、高機能・多機能で専用のプログラミング統合開発環境 (IDE) が整備された市販の小型マイコンボード製品は数多くあり、先駆けとなった Arduino[a]を始め、

Raspberry Pi[b], Beagle Bone[c], mbed[d]などが存在する。このような小型マイコンボードを教育に応用する実践研究として、大学の組込みソフトウェア教育で利用した和田らの Arduino Uno[1], 中学校の技術・家庭科の「情報に関する分野/プログラムによる計測・制御」の教材として吉田らの Lily Pad Arduino[2], 大学の電気電子系の導入教育として木村らの mbed[3]などの事例がある。一方、ある教育分野へ特化した専用のマイコンボードを独自に開発して教育に応用する実践研究も行われており、工業高校のロボット制御教育用として紅林らの PIC[e]マイコンボード[4], 大学の組込みシステム教育用として山本らの RX[f]マイコンボード[5]などの事例がある。

このような中、我々は2014年以來、所属大学のオープンキャンパスの学科主催イベントにおいて、主に高校生や保護者などの初心者を対象に、市販の小型マイコンボード (mbed) や技術系雑誌のマイコン製作キットを利用した体験学習会を実施してきた。しかし市販の小型マイコンボードやマイコン製作キットでは、高機能・多機能が故に理解が難しい、理解するのに時間がかかる、組立てに手間がかかり時間的な制約が厳しい、1セットの単価が高い、教授側の準備コストが増大など、満足できるものではなかった。そこで我々は (1) マイコンボードの構成が単純で教授者も学習者も短時間で理解できる, (2) 完成版に加えてキットで提供可能でありハンダ付けの実習体験ができる, (3) コンパクトで小さなケースに組込める, (4) マイコンボードと開発環境を含めて低コストで準備できる, (5) 安全・安心に利用できる, などの条件を可能な限り満たすべく小型マイコンボードを開発することにした。同時にこの小型マイコンボードを利用して、体験学習やマイコン教室などの実践を通して学習環境の開発を試みた。

### 2. 軽量コンセプトについて

#### 2.1 教育用マイコンボードの要件

教育用マイコンボードを開発するにあたり、前述の5つの条件を視野に入れて教育・学習用のマイコンボードが満たすべき要件を検討した。

##### (1) 実機であること

学習者が実物を見て触り、動かし、確かめ、実感を持って学習できること。

##### (2) 安価かつ容易に必要な台数を確保できること

可能な限り安価で小型化を図ることで、予算と場所の確保を容易にして多人数集合形式の授業や講習会などで全員が同時に利用できること。

<sup>†</sup> 東北文化学園大学 科学技術学部 知能情報システム学科  
Department of Intelligent Information System, Faculty of Science and Technology  
Tohoku Bunka Gakuen University  
a) Arduino <https://www.arduino.cc/>

b) Raspberry Pi <https://www.raspberrypi.org/>  
c) Beagle Bone <http://beagleboard.org/bone>  
d) mbed <https://www.mbed.com/en/>  
e) PIC <http://www.microchip.com/>  
f) H8 <http://japan.renesas.com/>

### (3) 誰もが理解できる単純な構成であること

マイコンの基本原理と簡単なマイコン制御を学んでもらうため、学習者はもちろん、経験が少ない教授者でも負荷なく理解して指導できる単純な構成であること。

### (4) 目的に応じて抽象化レベルを設定できること

マイコンボードの見え方（抽象度）を変えて小学校高学年から中学生，高校生，大学生や一般人まで幅広い年齢層の学習者に対応できること。

### (5) 安全安心に使えること

電気回路に不慣れな大人も含め、子どもが扱っても安全安心に取り扱えるようにすること。

## 2.2 軽量コンセプトの検討

前述 5 つの教育用マイコンボードの要件を可能な限り満足するようなコンセプトを検討し、次のようにまとめた。なお、ここで「軽量 light-weight」とは高性能・高機能を狙わずに単純明解な構成、必要最小限の機能と性能、扱いやすい小型サイズ、低コスト、低消費電力などの「手軽さ」を総称して表現したものである。

### (1) 理解しやすい単純な構成

ロボットやメカトロニクスなど特定ターゲットを狙わず、汎用的に利用することを想定し、幅広い学習対象者および多様な教育用途に応用できるようにする。マイコンボードが標準で持つべき機能を必要最小限に絞り込むことで、単純な構成を実現する。今回、標準搭載の機能はデジタル汎用入出力ポート（GPIO）とするが、市販のシリアル通信や I<sup>2</sup>C[g]インタフェース搭載の機能モジュール（入出力デバイスやセンサ等）が容易に接続できるよう工夫する。

### (2) 低コスト

マイコンボードの構成は一般に流通して入手できる標準的な電子・電気部品を使用する。またコストを抑えるために必要最小限の部品数と安価なケースを利用する。プログラミング環境は無償で利用できる既存の開発環境・ツールを使用する。

### (3) プログラミング容易性

プログラミングは原則アセンブリ言語を使わず高級言語 C/C++を使用する。プログラム開発環境は、実際のプログラム開発現場と同じ開発ツールを利用し、教育用に特化したプログラミング環境は使用しない。これは初級段階から実際の開発現場で使われているプログラム開発環境に慣れれば、中級以上へのレベルアップする際にギャップを少なくできると考えた。ただし初級段階のプログラム開発環境は、習熟度に応じてライブラリの提供やマクロ定義で抽象度を変えて理解しやすいように工夫する必要があると考える。

### (4) 扱いやすさ

マイコンボードに使う電子・電気部品は特殊な部品を使用せず入手しやすい標準的な部品を使用する。この際は最終的にプリント基板へ実装することを前提にブレッドボードで使用できる部品を種々選択する。またマイコンボードを組み込む収納ケースは自己調達が可能なものとする。

### (5) 組立て可能なマイコンボード

学習者が自らの興味・関心でマイコンボードの完成版またはキット版を選択できるようにする。マイコンボードは簡単なハンダ付けで組立てられるようターゲットになる基板はプリント基板で提供する。

### (6) 低消費電力

マイコンボードの電源は、小学校高学年の子どもや電気回路に不慣れな大人でも手軽に扱え、どこでも簡単に入手できる単 4 乾電池程度（×2 個，3V）で動作させる。

### (7) 小型化

マイコンボードはコンパクトな収納ケースへ組み込むことを想定し、扱いやすさを失わない程度の大きさに小型化する。

### (8) オープン化

マイコンボードの仕様・回路図等の設計情報は利用者同士で共有するため公開する。

### (9) 遊び心の要素を取り入れる

学習者がマイコンボードを見て触り、動かしてみ、様々な発想を誘発するような魅力あるものとする。

## 3. 小型マイコンボードの仕様と特長

前述の軽量コンセプトに基づき開発した小型マイコンボードの仕様と特長を述べる。図 1 に小型マイコンボード回路、図 2 に同回路（PCB 版）、図 3 に小型マイコンボード、図 4 にケースに組込んだマイコンボードを示す。

### (1) マイコン

マイコンは NXP 社 32 ビットプロセッサ LPC810（ARM Cortex-M0+アーキテクチャ）[h]を採用した。LPC810 は ARM 系高性能ワンチップマイコンでクロック 30MHz、Flash メモリ 4KB 内蔵、電源 3V で動作する。また DIP8 パッケージ（全 8 ピン構成）のためブレッドボードやユニバーサルボードへ直接差し込み実装可能である。ただし省力化ピンのためマイコンが持つ周辺機能（GPIO, USART, SPI, I<sup>2</sup>C, アナログ・コンパレータ）は初期化の際にスイッチ・マトリクスで選択し使用ピンを決定する仕組みになっている。さらに NXP 社 LPC シリーズマイコンはオンチップ API ライブラリ

h) NXP 社 LPC810  
[http://www.nxp.com/ja/products/microcontrollers-and-processors/arm-processors/lpc-arm-cortex-m-mcus/lpc-cortex-m0-plus-m0/lpc800-series:MC\\_71785](http://www.nxp.com/ja/products/microcontrollers-and-processors/arm-processors/lpc-arm-cortex-m-mcus/lpc-cortex-m0-plus-m0/lpc800-series:MC_71785)

g) I<sup>2</sup>C <http://www.nxp.com/ja/video/what-is-the-i2c-bus-an-introduction-from-nxp:NXP-WHAT-IS-THE-I2C-BUS>

(LPCOpen[i]) を持つので、プログラムはアセンブリ言語を使わず、全て高級言語 C/C++のみで記述することができる。

### (2) マイコン周辺機能と拡張ピン

小型マイコンボードは、ビット単位のデジタル入出力 GPIO インタフェース×4 個を LED×4 個へ接続しているため、拡張することなく LED 点滅 (Lチカ) プログラムをすぐに動作させることができる。この標準装備の LED はショートピンで GPIO 入出力に排他的に切り替えられるので、マイコンの GPIO をピンコネクタ経由で外部回路と接続可能である。これにより LPC810 マイコンが持つ I<sup>2</sup>C インタフェース、シリアル入出力インタフェース (SPI) やアナログ・コンパレータを利用することができる。さらに LPC-Link のデバッグ機能を利用する時に占有する 2 ピンはデバッグ機能の未使用時に GPIO として使用できるようピンコネクタを実装した (図 5, 6 参照)。このため最大 GPIO×6 個を同時に使用することが可能である。

### (3) ボードサイズ

プリント基板のサイズは取り扱いやすさを失わないよう配慮し、小さなケースに組み込み可能な大きさ (縦 42mm×横 42mm) にした。今回は身近にある手頃なサイズであり、かつ入手しやすく親しみがある、小さな玩具のカプセル販売に利用されているガチャポンケースの中に組み込むことにした。

### (4) 電源

マイコンボードの動作電圧は 3V なので、単 4 乾電池×2 個を電源として利用した。マイコンボードはコンパクトなケースに組み込むことを想定したので、省スペースと重さの視点でボタン電池の採用も検討したが、電池の入手のしやすさ、扱いやすさ、電池および電池ボックスの単価を考慮して乾電池を採用した。

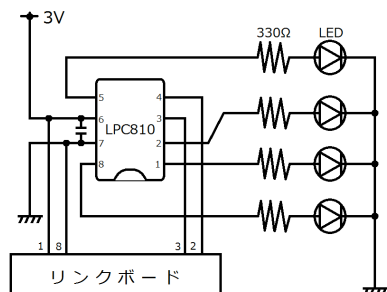


図 1 小型マイコンボード回路

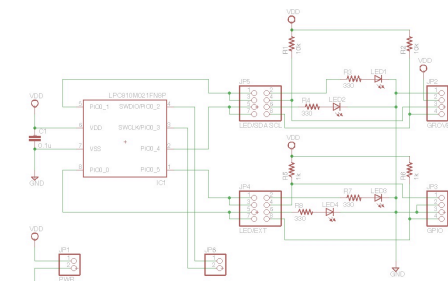


図 2 小型マイコンボード回路 (PCB 版)

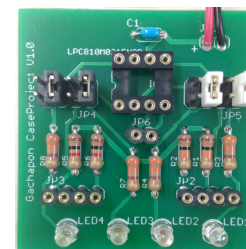


図 3 小型マイコンボード

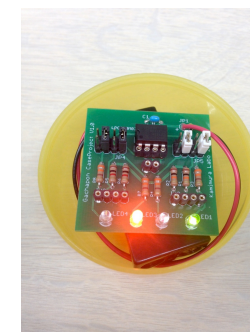


図 4 ケースに組込んだマイコンボード

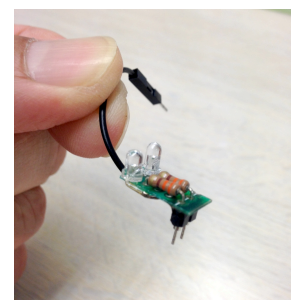


図 5 ミニ拡張ボード

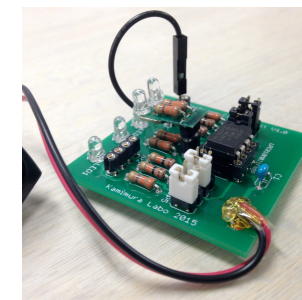


図 6 ミニ拡張ボードの搭載

## 4. 小型マイコンボードの開発環境

小型マイコンボードのプログラミング環境とハードウェア開発環境は次の通りである。なお後述する小型マイコンボードを利用した学習環境は、このプログラミング環境とハードウェア開発環境 (ただしプリント基板作成の手順を除く) が基本となる。図 7 に教育用小型マイコンボードの開発環境を示す。

### 4.1 プログラミング環境

プログラミング環境は LPCXpresso 統合開発環境 (IDE) [j] を使用する。LPCXpresso はマルチプラットフォーム対応 (Mac OS X, Windows, Linux)、今回のホスト PC は MacBook Air (Mac OS X 10.8) を使用した。ホスト PC で開発したプログラムをマイコンチップへ書き込むには二通りの方法がある。一つは LPCXpresso デバッガ付きタ

i) LPCOpen [http://www.nxp-lpc.com/lpc\\_software/lpcopen/](http://www.nxp-lpc.com/lpc_software/lpcopen/)

j) NXP 社 LPCXpresso [http://www.nxp-lpc.com/lpc\\_boards/lpcxpresso/](http://www.nxp-lpc.com/lpc_boards/lpcxpresso/)

ターゲットボード (LPC-Link ボード) 経由で書き込む方法, もう一つは自作書き込み専用ボード経由で書き込む方法である。いずれもホスト PC とボードを USB で接続する。

LPC-Link ボードを使用する場合, LPCXpresso でプログラムをビルドすると, コンパイルから書き込み, 実行まで一括して行われる。ただし LPCXpresso と LPC-Link ボードとマイコンチップ内蔵のデバッグ機能が連携して動作するので, マイコンチップ LPC810 のピン 8 本のうち 2 本がソフトウェアデバッグ用に占有される。

自作書き込み専用ボードを使用する場合, LPCXpresso で作成したプログラム (hex 形式) をプログラム書き込み専用ソフト FlashMagic[k]を使い, USB 経由でプログラム書き込み用ボード上にあるマイコンチップへ書き込む。いずれの場合もプログラムを書き込んだ後, マイコンチップをプロトタイプボードへ実装して動作を確認する。正しく動作することを確認したら, 最終的にはマイコンチップをターゲットボードへ搭載して動作を確認する。

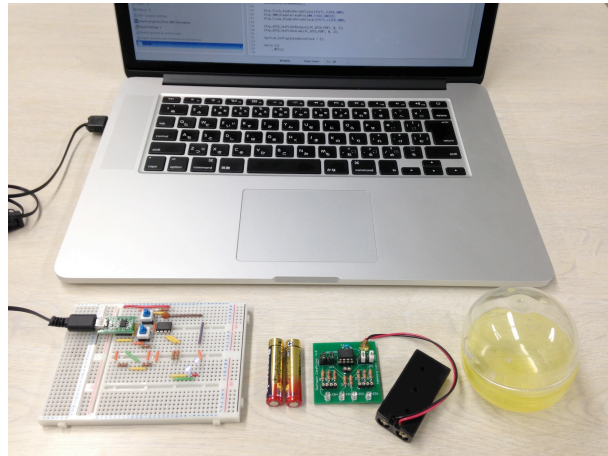


図 7 小型マイコンボードの開発環境

## 4.2 ハードウェア開発環境

### (1) プロトタイプボード (試作用基板)

プロトタイプボードは設計したマイコン回路を実装しデバッグするために使用する。ブレッドボードは電子・電気部品と回路を抜き差し可能なジャンパ線で配線するので, ハンダ付けが不要で配線の変更が容易にできる。このプロトタイプボードには, 便宜上, ホスト PC と USB で接続してマイコンチップへプログラムを書き込むための回路も一緒に実装することもある。

k) FlashMagic <http://www.flashmagictool.com/>

### (2) ターゲットボード (実装用基板)

ターゲットボードは実際のケースへ組込むための実装用基板で, 当初はユニバーサル基板へ電子・電気部品を載せ, ワイヤーまたは盛りつけハンダで配線する。デバッグ完了後, CAD ソフト (Eagle[l]) を使用してプリント基板に実装する回路および配線パターン設計を行い, 基板作製用ファイル (Gerber Format) を作成して業者へ発注する。プリント基板完成後, 電子・電気部品をハンダ付けで実装する。

## 5. 小型マイコンボードを利用した学習環境

今回, 開発した小型マイコンボードを使用してマイコンを体験的に学ぶイベント (2015 年 10 月大学祭で実施: 参加者 14 名, 12 月学内公開ゼミで実施: 参加者 4 名) を開催した。二回とも初心者を受講対象にした「ものづくり体験的な講習会」形式で試みた結果, 初心者向けのマイコン学習教材として利用できる感触を掴めた。

次にマイコン体験学習イベントで実施した小型マイコンボードを使用したマイコン

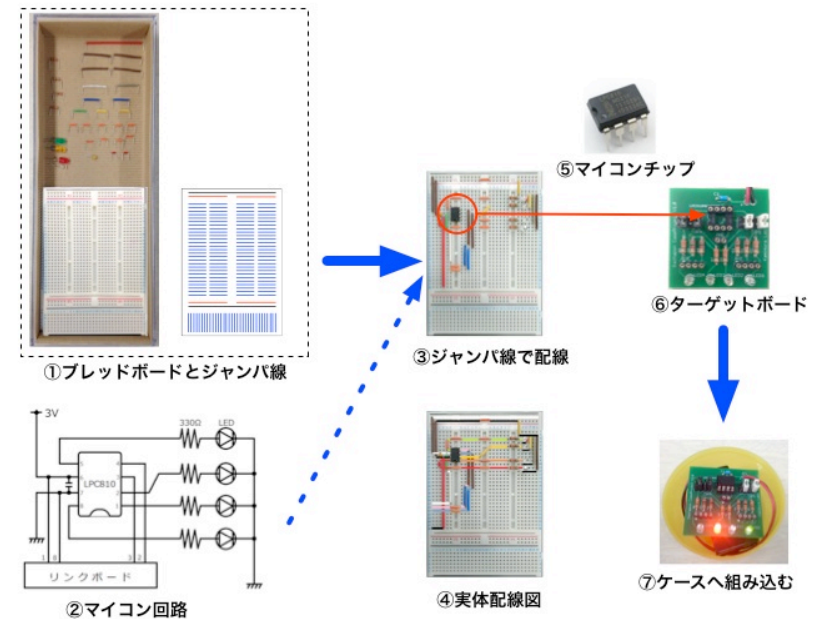


図 8 マイコン学習の手順

l) Eagle <http://www.cadsoftusa.com/>

学習の手順について説明する (図 8 参照).

- (1) プロトタイプボードの作成に必要なブレッドボードとマイコンチップを含めた電子部品およびジャンパ線のセット (①左側) を準備する. ここでブレッドボードを使用する際に必要となるブレッドボードの内部配線 (①右側) を説明する.
- (2) マイコン回路図に示した回路を見ながら, ブレッドボード上に電子部品を配置してジャンパ線で配線する (③). このとき学習者が初心者なら, マイコン回路図と併せて実体配線図 (④) を提示すると分かりやすくなる.
- (3) ブレッドボードの配線作業が終了したら, ブレッドボードに LPC-Link ボードを接続し, ホスト PC と LPC-Link ボードを USB ケーブルで接続する.
- (4) ホスト PC 上でプログラミング環境 (LPCXpresso) を起動し, プログラムを作成, 正常にコンパイルとビルドが終わると, ホスト PC で作成したプログラムを USB 経由でブレッドボードに搭載しているマイコンチップへ書き込む. 書き込みが終了すると同時にプログラムが実行される.
- (5) プログラムの動きが正しければ, ブレッドボードにあるマイコンチップ (⑤) をターゲットボードへ差し替えて乾電池をセットして起動させる (⑥). ここで書き込んだプログラムの動きを確認後, 問題がなければ最終的にケースへ組込む (⑦).

このように一連の簡単な手順で, ホスト PC で作成したプログラムをプロトタイプボードのマイコンチップへ書き込み, マイコンチップをターゲットボードに差し替えて実装し, 最終的にターゲットシステムへ組み込むことができる.

このことから, 小型マイコンボードは小学校高学年程度を対象にした「ものづくり教室」や「マイコン組立て教室」などの手軽な教材として, 中学校の技術・家庭科「情報に関する技術」の「プログラムによる計測・制御」の「処理の手順とプログラム」[6]の教材として利用できると考えている. さらに高校の教科情報「情報の科学」の「コンピュータと情報通信ネットワーク」の「コンピュータと情報処理」[7]のステップ単位の命令実行や処理手順の理解などの教材として利用できると考えている. また大学の初年次導入教育における体験型ものづくり講座や情報工学系専門科目の実験・演習などの導入教材としても活用できると考えている.

## 6. おわりに

今回, 我々が開発した教育用小型マイコンボードは, 軽量コンセプトに基づき (1) マイコンボードが単純な構成で教授者も学習者も短時間で大まかなしくみを理解できる, (2) キットで提供可能で配線やハンダ付けをして自作することができる, (3) コンパクトで小さなケースに組み込める, (4) マイコンボードと開発環境を含めて低コストで準備できる, (5) 安全・安心に利用できる, などの要件を概ね満足するもの

ができたと考える. この教育用小型マイコンボードは, 標準で実装する機能を絞り, 理解しやすい簡単なマイコン回路にしたので手軽に利用できる. マイコンボードとしては簡単な構成だが, マイコンチップ内蔵のシリアル通信機能 SPI やセンサなどの I<sup>2</sup>C インタフェース装備の外部入出力モジュールを容易に接続できるので, 複数センサなどを活用したある程度の複雑な制御も実現可能である. またコスト的にも小型マイコンボード 1 台あたりの価格は 1,000 円以下と安価であり, 小中高における教材として, あるいは一般向けのものづくり講習会の教材としても数を揃えやすく期待できる.

ただし, いくつか問題点もあり, 特にプログラミング開発環境が開発者向けの高機能 IDE (LPCXpresso) をそのまま使うので, 初心者にとって難易度が高いと思われる. この課題を早急に解決して, 今後は実際の小中高校や大学など教育現場で活用してもらい実践的な研究を進める予定である.

**謝辞** 本研究において小型マイコンボードの開発当初から協力して頂いた 2015 年度神村研究室所属の佐藤祥栄君, 丹野翔太君, 森田啓介君に感謝します.

## 参考文献

- 1) 和田佑介, 竹川貴博, 仲石資紀, 兼宗進, フィジカルデバイスを利用した大学での組込ソフトウェア教育, 情報処理学会第 73 回全国大会講演論文集 4, pp.465-466, 2011
- 2) 吉田智子, 中村亮太, 松浦敏雄, 「プログラムによる計測と制御」を学ぶための学習環境の開発と教育実践~LilyPad Arduino シミュレータ機能付 PEN を利用して~, 情報処理学会研究報告 Vol.2015-CE-128 No.15 pp.1-10, 2015
- 3) 木村尚仁, 伊藤藤, 榎本昌則, 矢神雅規, 佐々木正巳, 元井和司, mbed を用いた電気電子系導入学習の取り組み, 日本工学教育協会平成 26 年度工学教育研究講演会講演論文集 pp.442-443, 2014
- 4) 紅林秀治, 兼宗進, 制御と計測を取り入れた情報教育の提案, 情報処理学会研究報告 Vol.2004-CE-76 No.6 pp.41-48, 2004
- 5) 山本椋太, 木下大輔, 大西孝臣, 阿部司, 吉村斎, 組込みシステム教育用マイコンボードの開発, 2014 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集 pp.1037-1038, 2014
- 6) 文部科学省, 中学校学習指導要領解説 技術・家庭編 平成 20 年 9 月, 2008
- 7) 文部科学省, 高等学校学習指導要領解説 情報編 平成 22 年 5 月, 2010