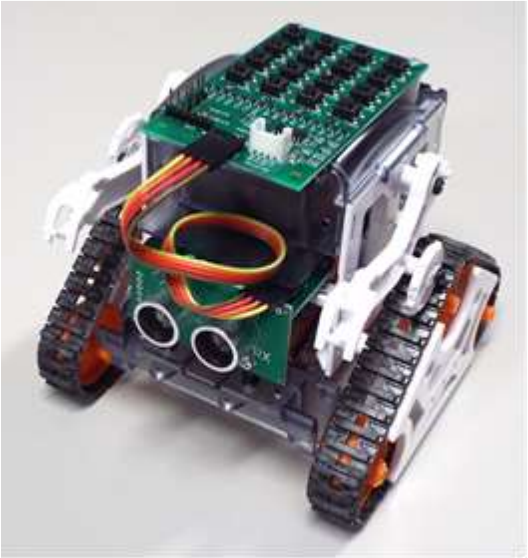
タミヤのマイコンロボットといっしょに
プログラミングであそぼう！！



絵本のシナリオ　第 1.3.1 版

福岡工業大学

木室義彦

【はじめに】
こんにちは．僕は，タミヤのマイコンロボット「テンちゃん」です．（好きな名前で呼んで下さい）
２つのキャタピラで走りまわるプログラミングロボットです．
僕のあたまの上には，数字のボタンがいっぱいついているんだけれど，どんなことができるか，自分でもよく分かっていないんだ．自分でボタン，押せないし．(;_;)
僕と一緒にプログラミングしてくれないかな？　（ちなみに数字のキーがついてるのでテンちゃんです．）

【マイコンとキーボード】
僕のあたまの中には，マイクロビットっていう小さなコンピューターが入っているんだ．
おしりの電池のところをめくってみてね．
このコンピュータとあたまの上のキーボードがつながっているんだよ．
たてよこ４個ずつ１６個のボタンがついたキーボード．右はしのたて１列は今回は使わないって．
で，キーボードの左上から１，２，３．１段下がって４，５，６．その下が７，８，９．
一番下は，星（＊），０，シャープ（＃）の順．
５のボタンの上には，ポチ（凸）がついてて，さわって分かるようになっているんだよ．
このボタン，どこかで見たことないかな？　これって電話のボタンと同じならびなんだ．

【動かしてみよう】
じゃあ，さっそく動かしてみよう．僕を机の上に置いて…
キーボードのすぐ下に，よこに動くスイッチがあるんだ．これを左に動かしてみて！
ピピッて音がなったら，電源スイッチが入った証拠．音が鳴らなかったら電池切れかも．

まず最初に，リセットボタンをためしてみよう．
キーボードの一番下の段の左から３番目がリセットボタン（＃）．押してみて！
ピッて鳴ったかな？　ボタンを押すとピッて鳴るんだ．
リセットボタンは，あたまの中をからっぽにしてねっていう命令なんだ．

じゃあ次は，実行ボタン．左下すみっこのボタンが実行ボタン（＊）だよ．押してみて！
ピピピピッていっぱい鳴ったよね．
これは，「ボタン押したね，今から実行するよ，終わったよ」ってことなんだ．
リセットボタンを押してあたまが空っぽだったから，あっという間に終わっちゃった．
じゃあ，今度は，２の５って押して，実行ボタンを押してみて！

【前進命令】
びっくりした？　うごいちゃったね！　今の命令は，前進の５っていう命令だったんだ．
じゃあ，もう一度実行ボタンを押してみて！
どう？　同じ動きをしたよね．そう，もう僕は覚えちゃったんだ．僕ってあたまいい？
これって君がプログラミングしてくれたからなんだよ．

じゃあ，今度は，一度リセットボタンを押して，実行ボタンを押してみて！
はい．忘れちゃいました～．

【命令と引数（オペランド)】
じゃあ，次いくよ．
さっきは，２の５で前進の５だったよね．じゃあ，２の次に１から９の好きな数字を１つ入れて実行してみよう．どうなるかな？　いろいろやってみて！

どうなったかな？　そう，前進の後ろの数字は，走る距離（または時間）だったんだ．
うごきと数値でセットになっているよ．
で，今，好きな数字を一つって言ったけど，２桁の数を入れちゃった人はいるかな？
前進１０とか前進２０とか．どうなった？

そうだね，思ったようには動かないよね．実は，僕って数字が１桁しかわからないんだ．まだまだ赤ちゃんロボットなんだね．
注：コンピューターが扱える数の大きさには上限があります．この教材では，０から９の一桁となっていますが，内部では８ビット $2^8 = 256 = 0$～255 で処理しています．世界最初のマイクロプロセッサー i4004 （インテル 4004 日本人が設計しました）は，4 ビットなので，$2^4 = 16 = 0$～15 でした．マイクロビット自体は，32 ビットのコンピューターです．

注：ここでは「うごきと数値」と説明しましたが，計算機工学という分野では，命令コードと命令オペランドといいます．関数と引数の関係と同じです．２語命令という言い方もします．

【後退命令から左右旋回命令】
さっきは，５の上のボタン，２を押したら前進したよね．じゃあ，５の下のボタンを押したらどうなるかな？　８の何とか．やってみて！

はい．びっくりしたかな．バックもできるんだ．机の上から落とさないように注意してね．
じゃあ，どんどんいくよ．５の上の２は前進，５の下の８は，バックだったね．じゃあ５の左のボタンは？　５の右のボタンは？　試してみよう！

そう，左回転と右回転だったんだ．だいたい左回転の４くらいで真横の９０度回転するよ．だいたいだけど．９０度って学校で習ったかな．角度の話．小学校の何年生で習うのかな？

【基本命令】
じゃあちょっとおさらい．君が入力してきた命令は，コンピューターの基本命令っていうんだ．それ１つだけで動く命令．
僕はロボットだから，動くのが基本命令なんだけど，コンピューターは，別名，計算機っていうくらいで，

足し算引き算の基本命令を持っているものもあるんだよ．
他には，計算結果を記録したり，出力したりする命令とか．

注：この辺りで，既に複数の基本命令を入力して逐次処理を始めている子が出てきます．前進命令でたくさん進ませたいので命令を複数入力したとか，リセットボタンを押し忘れて前の命令が残っていて，結果的に逐次処理を行っていたとか．このような「仮説検証」や「失敗の結果」を子どもたちから聞き出し発表させることで，知識の獲得と他の子どもたちとの知識や経験の共有ができるようになります．
また，例えば，前進 10 をさせたい場合は，前進 9 と前進 1 との組み合わせや前進 5 を 2 回入れるなどの足し算の考え方が使えます．違う組み合わせでも 10 のながさだけ走れることが確認できます．なお，この移動ロボットは，車輪（モーター）の回転数は計測していませんので，動きだし時と停止時に誤差が生じます．慣性の法則や摩擦が影響します．

【逐次処理】
僕にたくさんの命令をさせている子がいるね．そう，僕は，基本命令をいっぱいつなげて実行できるんだ．
これをプログラミングの「逐次処理」っていうんだ．逐次っていうのは順々にってことで「順次処理」ともいうね．
じゃあ僕にどんどん長い命令を入れてみて！　たとえば，前進して戻ってくるとか，前進して U ターンして戻ってくるとか，四角く回ってくるとか．

注：「前進して戻ってくる」プログラムは，前進命令と後退命令をつなげるだけですのでほとんどの子どもたちが達成できます．しかし，その後の「前進して U ターンして戻ってくる」という課題では，U ターンの角度の難しさの他に，U ターン後にバックさせる子どもたちがちらほら出てきます．この失敗から，三人称視点と一人称視点の違いに気づかせることができます．これは，地図を使った道案内にも有用です．また，「四角く回ってくる」という課題は，その後の繰り返しの制御命令の導入にもなります．

【ロボットダンス】
僕と同じロボット，他にもいるかな．もしいたら，僕の言うように入力してみて！
まず，リセットして…，前進の５，左回転の４，バックの３，右回転の４．入力できたかな．
（２の５，４の４，８の３，６の４）
じゃあ，せーので実行ボタンを押すよ．せーのー（実行ボタンポチッ）！！

どうだった？　うごいた？　ね．シンクロナイズドスイミングみたいだったね．
こんな風にコンピューターは同じプログラムを入れると同じうごきをするんだ．
うごきがちがっていたら，それはなんかプログラムにミスがあったか，メカが壊れたか，電池が切れたか．

注：コンピューターは，故障していない限り，プログラムされたとおりに動作します．間違ったプログラムも間違ったとおりに動作します．人間がプログラムできないことはコンピューターにもできません．これが，「コンピューターの動作原理」と言われるものです．

では，みんなでグループを作って，もっとたくさんの人でダンスをさせてみよう！
誰がリーダーになるか決めて，プログラムを作ってみよう！
動きだけでなく，最初にロボットをどう並べるかでもいろいろ工夫ができるよ．

注：ロボットダンスは，基本命令と逐次処理の理解の確認に適しています．最初は引っ込み思案の子もみんなでやる楽しさに引き込まれます．プログラムの入力を間違うと他と違う動きをしますが，だいたい笑いが取れます．間違った動きをした子に，「何をやった？(^m^)」と問いかけると，その子はヒーローになれます．実行ボタンとリセットボタンの押し間違いも楽しい失敗になります．できるだけたくさんの失敗を見つけて子どもたちに振り返ることの面白さを体験させてあげましょう．

【乱数】
みんな，基本命令はマスターしたかな？　動きと数字で動くよね．　じゃぁ一つ質問！
前進の０ってするとどうなると思う？　予想してみて！　動かない？　じゃ，やってみよう！

動いちゃったね？　変だね．　もう一回実行してみて？　また違う動き？　僕，壊れちゃった？
う～ん，ちゃんと僕は命令された通り正しく動いてるんだよ．
実は，動きと０で，バラバラの動きをするようになってるんだ．「動かない」じゃもったいないからね．
バラバラの動きをするものって，他に何か知ってる？　そうだね，サイコロとか抽選のガラガラとかあるよね．これって，乱数っていうんだよ．バラバラの動きをさせてコンピューターシミュレーションとかに使うんだ．
注：移動命令＋０とすると，動かない，ではなくて，０から９のランダムな動きになります．何回か実行させて，ばらばらな動きを体感させた後，サイコロや乱数の概念を紹介すると良いでしょう．回転命令と組み合わせるとルーレットとして遊ぶこともできます．「かごめかごめ」もできますね．なお，乱数はコンピューターシミュレーションの分野ではとても大事な概念です．

【音命令】
ところで，５の上下左右は，前進後退と左右回転だったね．じゃあ５のボタンはどういう動きをするんだろう？　試してみて！

分からない？　じゃあ，５の１，５の２，５の３って入れて実行してみて！

分かった？　そう，ドレミって鳴ったよね．そう，５は音命令だったんだ．１，２，３で，ドレミファソラシドが鳴るんだね．
これで，僕にうたを歌わせることもできるよ．かえるの歌とか知ってるかな？

ドレミファミレド（ド），ミファソラソファミ（ミ），ドドドドドドドド，ドレミファミレド（休）

注：休符はありません．すべて四分音符です．以下は，カエルの歌のコードです．

５１　５２　５３　５４　５３　５２　５１　５１

５３　５４　５５　５６　５５　５４　５３　５３

５１　５１　５１　５１　５１　５１　５１　５１

５１　５２　５３　５４　５３　５２　５１

一応，２台以上あれば，輪唱も可能です．

なお，コンピューターの裏で動いている割り込み処理というのが悪さをして，時々音痴になります．歌っているときに後ろからくすぐられた感じです．

【LED 点灯命令】

僕の頭の中のマイクロビット，実は LED っていうランプがたくさんついているんだ．これを光らせることもできるよ．

でも，頭の上にはキーパッドがついているから，ちょっと見えにくいね．お尻の電池をめくるか，上の半透明のカバーをかぽって外すと見えるんだけどね．

で，どうするかっていうと，音命令の[5]の次に[0]って押すと，乱数じゃなくて，LED 点灯命令になるんだ．[1]から[9]までの３×３のマス目で光らせる LED を指定できるよ．

例えば，

[5]+[0]+[5]+[0] って入力して実行すると，マイクロビットの真ん中の LED が光るよ．最後の[0]は，ここまでっていう合図．

LED を四角く光らせたい場合は，

[5]+[0] の 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9 で最後に[0]

注：移動命令と違い，音命令＋０は，乱数ではありません．マイクロビットの LED アレイへの点灯命令になります．

５０＋１～９の数字＋０　という命令で，LED アレイの中央３×３に図形を表示させることができます．

本教材は上にキーパッドが付いているため，マイクロビットを直接見ることはできませんが，お尻の電池をめくるか上のカバーをかぽっと外すと見えます．

全盲の児童生徒は自分の作った LED 点灯プログラムを見ることはできませんが，図形当てクイズや晴眼者に６点点字を教えることができます．

【LED 点灯命令】

まとめ．ここまでで，君たちはプログラムの入力と実行，あと，僕ができる基本命令５つを使えるようになったね．

どうだった？　むずかしかった？　頭の中で動きやプログラムを考えるのは，ちょっと大変だよね．

難しかったけど，面白かったって思ってもらえるとうれしいな．

僕たちロボットやコンピューターは，君たちが考えてくれたいろいろなプログラムで，世の中の役に立ちたいなぁって思っているんだ．まだまだ，勉強中だけど，これからも一緒にあそんでね．

注：今回のプログラミング言語は，私たちが開発した独自言語ですが，C 言語やアセンブリ言語に似た文法になっています．そして既にお気づきかもしれませんが，このロボットに入力したコード（数字の列）は，実は機械語だったのです（マイクロコードといいます．）．プログラミング言語には，Python や Scratch 等いろいろありますが，最終的には，コンピューターは数字の列（内部では２進数）を解釈して実行しているのでした．

%%%%%% ここから後編「制御命令」です %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
【繰り返し処理】
もう，ロボットダンスは，かんぺきだね！　じゃ，君にお題を出してみようかな.
四角形に回ってくるプログラムは作れるかな？　正方形の形.

できたかな．どんなふうに作ったか僕に教えて！
そうだね，まっすぐ行って右に４，まっすぐ行って右に４，まっすぐ行って右に４，まっすぐ行って右に４．
これって，「まっすぐ行って右に４」をくりかえしているよね．４回くりかえしてねっていう命令があると便利だと思わない？
そう，それがあるんですよ，お客さん.
キーボードの左上すみっこの１が「くりかえし（FOR)」の命令になっているんだ.
だから，「くりかえし４回」っていうのは，１の４と入力するんだ.
あとは，「まっすぐ行って右に４（２の５，６の４)」っていれて，最後に「くりかえし終わり（NEXT)」の３．
入力できたかな？　じゃぁ実行してみよう！

注：繰り返し処理は，FOR～NEXT のブロック構造でプログラミングできます．四角形に回るプログラムは，たとえば以下のコードです．回転角度は正確ではないので，右回転の３や５でも試してみましょう.

```
FOR 4
  前進 5
  右回転 4
NEXT
```

少ないステップ数（４命令とか）のシンクロナイズドダンスを長く動作させることも子どもの興味を引き出すのに使えます．このほか，教室の端から端まで長距離を走らせるという競争もありです．先ず最初に前進命令を鬼のように入力させて，そのあと，繰り返し命令を教えると，子どもたちはその便利さに感激してくれます.

【繰り返し処理（無限ループ)】
繰り返しの FOR は，わかったかな？　じゃあ，FOR の 0 と入力したらどうなると思う？
0 回だから繰り返しなし？　じゃあ，やってみよう！

どう？　そうだね，止まらなくなったね．これを無限ループっていうんだ．ずっと動きっぱなしになるよ．でも，電池が切れたら止まっちゃうけどね.

この無限ループ．例えば君たちのスマホも電源を入れたらこの無限ループが始まっているんだよ．画面をタッチしたとか，メールが来たとかをずっと調べているんだ.

スクラッチっていう超有名プログラミング言語，知ってる？　スクラッチをやったことがある人もいる

かもね．
このスクラッチでは，「ずっと」ってブロックになっているんだよ．英語では，「For ever」（フォーエバー）って書いてあるんだって．

無限じゃなくて，決めた回数だけたくさん繰り返したいって思ってる子，いるかな？
そのやり方，小学２年生で習っているかもよ．ヒントは，九九！！

注：繰り返しの回数も１桁しか設定できません．ということで，10 回以上繰り返したい場合は，FOR 文を入れ子（２段とか）にします．10 回繰り返したい場合は，５回繰り返しと２回繰り返しの入れ子で実現できます．掛け算や九九と同じ考え方です．９回繰り返しを２段にするだけで，ロボットは教室の端から端まで走れるでしょう．
また，この入れ子は，今のところ 10 段まで可能になっています．ということで，最大，９の 10 乗＝約 35 億回の繰り返しが可能です．約 20cm 進む「前進 9」の命令を繰返すとどれくらい進めると思いますか？　答え：約 70 万 km，地球 17 周です．月への往復ももうちょいです．

【条件分岐（障害物回避）】
じゃあ，次いくよ．今度は，僕がプログラムの数字だけ言うから，みんな入力して実行してみて！　どんな動きをするプログラムか分かるかな？
１　０　　これは，無限ループだったね．で，
７　１　２
４　１
９
３
実行！！
あれ？　うごかないね．どうしちゃったんだろ，？　僕の顔のへんをさわってみて！？

びっくりした？　そう，僕の前を手でふさぐと嫌って横向くんだ．
これは，僕の顔の２つの目玉みたいな超音波センサーっていうセンサーでまわりのものまでの距離を測っているんだよ．どれくらいで反応しているか，わかるかな？　（10 cm で反応します）

みんなでロボットダンスをしてると，やっぱり，となりのロボットや壁とかとぶつかっちゃうよね．このセンサーを使うと自動でよけられるようにできるんだ．
今，自動運転の車が研究されているんだけれど，知ってるかな？　今，君たちが遊んでいるこの技術が使われているんだよ．
もしかすると，電子白杖っていうのを使ったことがある人もいるかもね．
１のボタンが超音波センサーで 10cm を測っているよ．３のボタン，７のボタン，９のボタンはどうかな？　ためしてみよう！

注：3 は 30cm センサー．9 と 7 はそれぞれ 90cm と 170cm のセンサーになっており，一応，最大 255cm まで測れるようになっています．精度（分解能）は，1cm です．8 bit（ビット） ＝2^8＝256＝0～255．ただし，広い範囲を計測していることから，指向性はあまりよくありません．天井までの高さくらいなら測れるでしょう．

じゃあ，障害物回避のプログラムを作ってみよう！
先ず，

```
FOR 無限                          （1の0）
  前進 1                          （2の1）
  もし 10cm センサーがオンだったら      （7の1の2）
     右回転 2                       （6の2）
  もしおわり                        （9）
NEXT                                （3）
```

僕，盲導犬ロボットになれたかな？　僕にヒモをつないで，いっしょに散歩しよう！！

【さまざまなセンサー（超音波センサーから加速度，明るさ，地磁気，温度)】
今，超音波センサーを使ってみたけど，マイクロビットというコンピュータには，他にもセンサーがついているんだよ．ひとつずつ，試してみようか．

注：マイクロビット（ v1.5)には，地磁気（コンパス)，明るさ，加速度，温度の 4 つのセンサーがついています．それぞれ，2，5，8，0 の縦一列に並べています．その理由は，コンパスは北が上ということで 2，明るさセンサーはマイクロビット中央の LED で測っているので 5，加速度は下に落ちる重力加速度を測っているので 8 に割り当てています．温度は，棒温度計の液溜りから，一番下の 0 に割り当てています．

注：下のプログラムで，センサーID のところを，2，5，8，0 に変えることでセンサーの働きを確認することができます．

```
FOR 無限                  （1　0）
  IF　センサーID　ON      （7　？　2）
    BEEP 5                （5　5）
  ENDIF                   （9）
NEXT                      （3）
```

【明るさセンサー】
最初は，明るさセンサーをやってみよう．つくるのは，暗くなったらお休みしちゃうロボットだよ．
プログラムは，こんな感じ．

```
FOR 無限                    （1　0）
  IF　明るさセンサー　ON     （7　5　2）
    BEEP 5                  （5　5）
  ENDIF                     （9）
NEXT                        （3）
```

明るさセンサーは，真ん中の[5]のボタンになっているよ．マイクロビットの真ん中で明るさを測っているからなんだけど．
無限ループでぐるぐるまわってて，もし，明るさセンサーがオン，つまり，明るかったら音が鳴るっていうプログラムになっているよ．
実行してみよう．

あれ？　音が鳴らないねぇ．　ちょっと僕の頭のところを両手でおおうか，布をかぶせてみて！　どうなった？
ね，明るい時だけ，音が鳴るようになったでしょ．　明るい，暗いっていうのを君が教えてくれたから分かるようになったんだよ．

明るい，暗いの分かれ目を「しきい値」っていうんだけれど，これを自動的に決めるっていうのを，「機械が学習した」っていう言い方もするよ．　僕のは，まだまだ赤ちゃんレベルだから，はずかしいけれどね．

注：夜になると街灯が点くのも同じような仕組みです．夜間の横断歩道で人が近づいた時に点灯する照明とか，防犯ライトは，超音波センサーや人感センサー（赤外線センサー）との組み合わせになっていますね．

【加速度センサー】
次は，どんなプログラムをつくろうかなぁ．　横になったら寝ちゃうロボットなんてどうかな？　寝ちゃって，いびきや寝息で「ぐーぐー」言っちゃうやつ．
横になるって，どうやったら分かるんだろう？　てか，「横」の前に「下」って何？

注：「前後左右上下」というように３次元空間は，３方向（正負でいうと６方向）ありますが，「下」にしか付かない動きを表す言葉を考えると良いでしょう．「下に落ちる」ですね．ここから，理科の重力や万有引力の話ができると思います．ちなみに，ニュートンがリンゴが落ちるのを見て万有引力を見つけたというのは，作り話だそうです．

そうだね．重力がどっち向きか分かると，立っているか横になっているか分かるね．加速度センサーは，[5]の下の[8]に割り当てられているよ．
プログラムは，こんな感じ．

```
FOR 無限                          （1　0）
  IF　加速度センサー　ON          （7　8　2）
    BEEP 5                        （5　5）
  ENDIF                           （9）
NEXT                              （3）
```

どう？　横になったら速攻で寝ちゃったかな．どれくらい横になったら寝始めた？　（４５度です）
逆立ちしても寝ちゃうけど．

これは，ストーブが倒れたら自動消火したり，地震が来たら警報を鳴らすとか，いろいろなところに使われているんだよ．自動車の安全装置のエアバッグもそうだね．

注：今回のセンサーでは，45 度以上傾いた時，および，揺すった時（ ±0.2 G 以上加速度が変化した時）に反応するように設定しています．

【地磁気センサー（コンパス)】

注：一応，磁気センサーで磁石の磁力を感知するプログラムを作ることもできますが，マイクロビット自体が磁化してしまうと，コンパスとして正しく動作しなくなります．最近は，ネオジウム磁石とか強力な磁石が多いので，このタミヤのプログラミングロボットに磁石をくっつけるような実験は，おすすめしません．ちなみに，日本での地磁気は，約 30μT（マイクロ・テスラ）（水平分力）で，普通のフェライト磁石の１万分の１くらいの強さです．

今度は，探検ロボットっていうのはどうかな？　南極探検！！　って南とか北とかどうやって調べるんだっけ？　小学校の３年生で習うって聞いたよ．

そうそう，コンパスっていうのを使うんだね．小さい細い磁石をつり下げたら，南北を向くっていうの．
実は，僕もコンパス機能を持っているんだよ．じゃぁ，南極に向かってレッツゴー！！

えっと，磁気センサーは，[2]のボタンに割り当てられているよ．「地図は北が上」っていうお約束に合わせてあるんだって．で，北を向いていなかったら（磁気センサーがオフだったら)，くるくる回転だぁ．
というプログラム．

```
FOR 無限                          （1　0）
  IF　磁気センサー　OFF          （7　2　8）
    左回転 1                      （5　5）
  ENDIF                           （9）
NEXT                              （3）
```

さぁ，実行．うまく動くかな．ギコギコギコ，ピタッ，ギコギコギコ…

どうかな，北を向いたかな？

あれ？　南向いてる？　ごめんねぇ，僕のマイクロビットはお尻から差し込んであるから，マイクロビットが北を向くと，僕は南を向いちゃってるんだ．　分かりにくくてごめんね．

それにね，コンパスセンサーって，でっかい地球が発している超弱っちい磁力を感知しているから，まわりに鉄とかがあるとうまく動かないんだって．コンクリートの建物の中とは，ちゃんと動かないかもしれない．

注：マイクロビットに限らず，磁気センサーは，周りの磁界の影響を受けるので，校正（キャリブレーション）という作業が必要になります．マイクロビットの場合，基板中央の LED を全部光らせるという 1 分くらい掛かる作業が（ほぼ毎回）必要になります．この作業は，目の見えない子はできませんし，晴眼の子でも面倒です．ということで，今回のプログラミングロボットでは，実験している間に（プログラムが動作している間に）自動でキャリブレーションを行うようにしています．上のプログラムも 1 周くらい回ると正確に北を指すようになります．

【温度センサーと 2 進化 10 進数】

注：マイクロビットの標準の温度センサーは，CPU の温度を計測しており，外気温より 4 度～5 度くらい高く誤差が出ます．CPU は，動作している時に自分で発熱してしまうためです．これに対し，１０キープログラミングのマイコンロボットは，加速度センサー内部の温度補償用のセンサーの値を使っているので，ほぼ正確な外気温を計測できるようになっています．温度は，マイクロビットの LED 画面および音（2 進化 10 進数）で表示しています．「2 進化 10 進数」は大学の計算機工学で習う大事な概念です．

最近は，暑かったり寒かったり，異常気象っていう話を聞いたりするよね．地球温暖化ってどうなっちゃうんだろ．まずは，温度を測らないとね．
で，僕にも温度センサーが入っているんだよ．一応，-40 度から 80 度くらいまで測れるみたい．でも，やけどしちゃったり，凍えたりするからむちゃしないでね．お風呂には入れません．

じゃぁ，プログラム．今度は，音は鳴らさないよ．

```
FOR 無限                    （1　0）
  IF　温度センサー　OFF     （7　0　8）
    左回転 1                （4　1）
  ENDIF                     （9）
NEXT                        （3）
```

では，実行！！　ギコギコギコ．なんかピーピーピッピッうるさいけど，ちょっと我慢してね．
これって，暖かいと動くプログラムになってるんだ．つまり，寒くなると止まっちゃう？
じゃぁ，僕を冷蔵庫の冷凍室に入れちゃおう！！　しばらくすると（20 度よりも寒くなると），冬眠しち

ゃうよ．

冷え切った僕を，また，外に出しておくと，ギコギコ動き出すよ．
僕の温度センサーは，今のところ，25 度から 5 度だけ変化した 19 度以下や 26 度以上でオンになるようになっているんだ．

で，さっきのうるさいピーピーだけど，一応，僕は温度をしゃべってるんだよ．
２進数で．ピーが０，ピッが１．ちょっと早口かな．
もし，今が２７度だったら，ピーピーピッピー，ピーピッピッピッってなるよ．
２進数で 0010 0111．これ，10 進数だと，２７ ってことなんだ．
一応，マイクロビットの LED でも 3 桁の数字で，27.0 って表示してるんだけどね．

注：一応，0.5 度単位まで計測できるようにしています．もう一つ精度を上げると 0.25 度単位になります．なぜなのか，中学生や高校生に考えてもらっても良いかもしれません．一応，工業高校や大学で 2 進数の小数表現として学びます．

これは，2 進数で 10 進数を表すのを 2 進化 10 進数っていうんだよ．4 桁（4 ビット　2^4＝16=0～15）の 2 進数で 0 から 9 を表すんだ．世界最初のマイクロプロセッサーが 4 ビットだったのも，10 進数で計算する電卓用として設計されたからなんだよ，たぶん．

【条件付き繰り返し】
ここまで，制御命令とセンサーを使って遊んできたけれど，どうだった？
FOR 文や IF 文は，むずかしいけどいろいろなことができるようになったでしょ．

実は，制御命令には，もう一つ便利なものがあるんだ．どんな時に使うかっていうと，
「教室の端っこまで走っていく～！！」です．
え，FOR 文でいっぱい繰り返せばいいじゃないかって？　でも教室の端っこまで何回繰り返せばいい？
たとえば，「近くの駅まで歩いていく～！！っていうときに，あらかじめ，何歩前進って数えておく？

これを解決するのが，条件付き繰り返しの WHILE 文ってむずかしく言っちゃったけど，これって実は簡単．「超音波センサで（壁に）突き当たるまで前進」ってできるといいと思わない．
つまり，IF 文を繰り返せたらいいよね．繰り返しは，FOR～NEXT．条件判断は，IF～ENDIF．ということで，条件付き繰り返しは，IF～NEXT でできるようになってるよ．
え，WHILE 文ってどこ？　ごめんね，実は僕の頭の上の 10 個のキーは，基本命令と今までの制御命令で全部使っちゃってるんだ．

まぁ，難しいことでもやってみたら動きは分かるよ．
IF　10cm 超音波センサー　OFF　　（７　１　８）
　前進 1　　（２　１）

NEXT　　（3）

これで，どんどん前進するけど，僕の前に手や壁が出てきたら，ぱって止まるよ．試してみて．
これが，自動運転カーの自動ブレーキ機構なんだ．衝突回避とはちょっと違うね．
車が衝突したときにエアバッグを広げるのにも使えるよ．

%%%%%% ここから上級編（データロギングと無線通信）です．まだまだ推敲中です．　%%%%%%

注：マイクロビットは，新しいバージョンの v2 からデータの記録と保存（ロギング）が可能になりました．これに対し，私たちの１０キープログラミングでは，古いバージョンの v1.5 でもデータロギング可能になっています．また，ロギング用のコードを書く必要はありません．

[リセット]+[０]+[５]と入力するだけで，センサーを使ったプログラムを実行すると，シリアルポートからセンサーデータを出力すると同時に，バックグラウンドでデータロギングも行います．中学校や高校の理科や技術家庭科で利用可能です．

【センサーデータの出力とロギング（加速度や温度の記録）】

じゃ，最初に次のプログラムを入力して実行してみて！

１　０
７　８　２
５　５
９
３

これは，どんな動きをするか分かるかな？　これは，僕が転ぶと（４５度以上傾くと），泣いちゃうプログラムなんだ．手に持って，いろいろ傾けてみて！　ちょっと揺すったり，叩いても泣いちゃう泣き虫プログラムだね．

注：プログラムの中身は以下の通りです．

```
FOR 無限                    （１　０）
  IF　加速度センサー　ON    （７　８　２）
    音　５                  （５　５）
  ENDIF                     （９）
NEXT                        （３）
```

これは，ストーブが倒れたら自動消火したり，地震が来たら警報を鳴らすとか，いろいろなところに使われているんだよ．この加速度センサーってどんな信号を出しているんだろうね．

ここからは，パソコンを使ってちょっとめんどくさい実験をするから，パソコンに詳しい人といっしょにやろう！

まず，Windows っていうソフト（OS：オーエス）が入っているパソコンと通信ソフトを準備しよう．マックやタブレット，スマホでもできないことないけど，いろいろ種類があって説明しにくいから，ごめんね．あと，USB ケーブルっていう僕とパソコンをつなぐ線も必要だよ．100 円ショップ（百均）で 100 円で売ってるよ．

注：Windows は，Windows XP 以降ならば古いパソコンでも大丈夫です．また，通信ソフトは，TeraTerm（テラターム）という日本製のフリーの通信ソフトが定番ですが，シリアル通信ができるものなら何でも OK です．あと，USB ケーブル

は，両端にマイクロ USB タイプ A と USB タイプ A のコネクタが付いているものですが，100 円ショップでは，アンドロイドスマホのデータ通信用という名前で売っていることが多いです（充電用というのは使えません．また，アンドロイドでもタイプ C という丸っこいのは使えません）．また，上で述べたようにシリアル通信ができるならば，マックでもタブレットでもスマホでも何でもいいのですが，USB ポートが整合する必要があります．

で，僕とパソコンを USB ケーブルでつないでね．僕のは電池のところをめくると USB のコネクタ（接続口）が見えるよ．パソコンは，何ヶ所もあるからどこにつないでもいいよ．
つないだら，通信ソフトを起動して，通信速度を「115,200」にしてね．難しかったら，詳しい人に聞いてね．これは，1 秒間に 1 万文字くらい通信できる速さだよ．1 秒に 1 文字の漢字の書き取りをするとしたら，３時間くらい掛かっちゃうね．

注：通信速度は，1 秒間に何ビット通信できるかという bps （bit per second ビーピーエス）という単位で表します．普通，アルファベット 1 文字当たり 8 ビット使いますので，115,200 bps だと，115,200/8=14,400 文字になります．でも，シリアル通信では, 誤り検出やデータの区切りに何ビットか使ったりするので, ここでは少なめに 1 万文字としています．本当は，漢字は，2 バイト（16 ビット）使うことが多いので，その半分になります．また，通信速度は，高速な光通信だと 100 G bps = 100,000,000,000 bps くらいになります．今回の 100 万倍ですかね．昔（1970 年代）は，電話線を使うと 300 bps くらいでした．

ケーブルをつないで，通信ソフトを起動したら，さっそく実験開始．
さっきの転ぶと泣いちゃうプログラムは，入っているかな？　そうしたら，おまじないを一つします．
「リセット」,「０」,「５」と順に入力して下さい．ピッて音が鳴るはずです．そうしたら，プログラム実行！！　通信ソフトの画面には，何が出てきたかな？

３つ一組の数字がすごい勢いで表示されていたと思います．これが，加速度のデータなんだよ．多分，1 秒間に 30 回くらい表示しているはずです．で，傾けたときにピーピーと音が鳴るけど，その時，シリアル通信の数字は，３番目が-0.707 より大きくなっているはずです．この数値をみて，傾いたかどうか判断していたんだね．

注：ロボットを平らなところに置いたとき，重力加速度 g は，下向きに　-1G になります．θ 度傾けると，cos θ 度 になるので，cos 45 度 = $1/\sqrt{2}$ = 0.707 という値になりました．この辺りは，高校の数学と物理で学習することになります．なお，三平方の定理（ピタゴラスの定理）を習っている小学生なら，底角 45 度の直角二等辺三角形から，0.7^2 + 0.7^2 = 0.49 + 0.49 ≒ 1.0^2 が計算できるでしょう．

このデータ出力の機能を使うと，加速度センサーのデータだけではなく，地磁気や明るさ，温度，超音波センサー（の出力する距離）を表示したり，記録したりすることができるんだよ．理科の実験や夏休みの自由研究に使ってみよう．

注：このようにリアルタイムでセンサーデータが表示できますが，それと同時にマイクロビット本体にもこのセンサーデ

ータを記録しています．この記録されたセンサーデータは，マイクロビットの電源を切っても消えません．マイクロビットだけでセンシングを行った後，あとでパソコンにつないでセンサーデータを表示することもできます．その場合は，[リセット]+[0]+[5]の後に，[リセット]+[0]+[2]で，経過時刻付きでセンサーデータが出力されます．ただし，マイクロビットのメモリーの制限から，加速度センサーだと 2,600 回（1 分半），温度や超音波センサーだと 3,800 回くらいしか記録できません(10 分に 1 回の温度計測ならば，27 日分くらいは記録できる計算です．マイクロビット v2 だと，この倍の回数記録可能です)．なお，メモリーオーバーしたデータは全部捨てられてしまいます．途中で電源が切れた場合は，直前まで 1KB 単位で記録されています，なお，プログラムを再実行するたびにデータログはクリアされるので注意が必要です．

【センサーデータを用いた無線通信（宝探しから混信回避）】

注：一般に無線通信を行うためには，２台（以上）のマイクロビットで，無線グループ（ID)を設定し，送信側，受信側で，それぞれ送受信のデータのやり取りの手順をプログラミングする必要があります．このプログラミングは結構難しく，また，改造は面倒です．このため，１０キープログラミングでは，簡単に無線通信を行うモードを備えました．具体的には，無線通信をしたい場合は，[リセット]+[０]+[３]と入力します（［３]の位置には，マイクロビットのアンテナがあります)．そして，送信側のマイクロビットだけ，追加で，[リセット]+[０]+[２]と入力します（［２]の位置には，マイクロビットの入出力端子があります)．そうして，それぞれのマイクロビットで実行させると，送信側は，自分のセンサーデータを Bluetooth でブロードキャスト（放送）します．受信側は，ブロードキャストされているセンサーデータを拾い，自分のセンサーのようにプログラムを実行します．

【センサーデータを用いた無線通信（A:ラジコンロボット，B:遠隔障害物回避)】

今度は，無線通信の実験をしてみよう！　必要なのは，10 キープログラミングロボットが 2 台以上．通信するには，相手がいるからね．

なかったら，先生に相談してみよう．どっかから借りてきてくれるよ，たぶん．

さて，何をつくろうかなぁ…

注：サンプルとして，以下の A，B，2 つのパターンを考えてみました．どうでしょうか？

「A:ラジコンロボット」

みんな，ラジコン（ラジオコントロール）で遊んだことはあるかな？　ジョイスティックという 2 本の棒を前後左右に倒して，ラジコンカーやドローンを動かすおもちゃ．今度は，自分でラジコンロボットをつくってみよう！！

注：「ラジコン」は，おもちゃメーカの増田屋コーポレーションの登録商標です．増田屋コーポレーションは，江戸享保年間（1724 年）創業の老舗企業だそうです．

「B:遠隔障害物回避」

みんな，勉強しなきゃいけない時にゲームで遊んでて，急に来たお母さんや先生に見つかって怒られたことはあるかな．IT 技術者も仕事中に遊んでいるのがバレないように，「ボスが来たぞ装置」を作ったりしてるんだって．君たちも作ってみたい！？

【まず，無線を使わず単体で動くロボットプログラム】

まず，無線を使わないものを作ってみよう．センサーを使ったプログラムのおさらいだね．

注：センサーに反応して，動いたり，音を出したり，LED を光らせるプログラムを作ります．FOR 文と IF 文一組ずつの簡単なプログラムでいいです．

「A:ラジコンロボット」

マイクロビットの A ボタンを押したら，前進するプログラムは，こんなだよ．

FOR ever

```
  IF　A ボタン　ON
    前進 1
  ENDIF
NEXT
```
数字（機械語）で書くと，１０７４２２１９３

「B:遠隔障害物回避」
超音波センサー 10cm で反応してバックするプログラムは，こんなだよ．

```
FOR ever
  IF　緒音波センサー10cm　ON
    バック 1
  ENDIF
NEXT
```
数字（機械語）で書くと，１０７１２８１９３

じゃ，実行してみよう．ちゃんと動いたかな？
動いたところで，ロボットを２台準備して，同じプログラムを入力するよ．

【無線機能の起動，動作確認，無線の送信機能の起動】
ロボットが２台だとどっちがどっちか分からなくなるので，１台目を「初号機」，２台目を「弐号機」って呼ぼうかな．かっこいい？　あ，どちらも一度は動かしてみて，ちゃんと動くか確かめておいてね．
実行ボタンをもう一度押すか，電源スイッチのオンオフで，プログラムを保存したまま止まるよ．

では，無線通信プロジェクト始動！！（好きなロボットアニメのテーマソングを頭の中に思い浮かべて）

初号機，弐号機ともに，「リセット」，「０」，「３」で無線機能オン！！
次に，初号機のみ実行！！　実行ボタン（＊）ポチッ！！

「A:ラジコンロボット」
ラジコンロボット A ボタンオン！！

「B:遠隔障害物回避」
センサーロボット動作開始！！　超音波センサーに感あり（って手をかざす）！！

あれ？　動かない？　盛り上がっていたのに故障？　いやいや，これからなんだよ．

弐号機に追加命令．「リセット」，「０」，「２」！！　送信機能オン！！
弐号機，実行！！　実行ボタン（＊）ポチッ！！

弐号機はちゃんと動いているかな，で，同時に初号機をみてみると…
触ってもいないのに初号機が反応しているよね．これが無線通信なのさ．

種明かしをすると，弐号機のセンサーのデータが無線で周りに送信（ブロードキャスト：放送）されて，これを初号機が受信して，プログラムが動いたんだ．
つまり，弐号機が放送局，初号機がラジオやテレビになったんだね．弐号機をセンサーだけのプログラムにしてしまうと，遠隔センサーロボットのできあがりなんだ．
マイクロビットって子ども用の小さいマイコンボードなんだけど，すごい高度な設計がされているんだよ．

この無線通信，どれくらい遠くまで通信できると思う？　２台のロボットをちょっとずつ離しながら動かしてみよう！　どれくらいの距離で通信できなくなったかな？　（大体，見通し 30m くらいは通信できます．最大出力で 50m くらいにできます）

ボタンや超音波センサー以外も加速度センサーや明るさセンサー，コンパスセンサーなど，マイクロビットにつなげられるセンサは，全部，遠隔センサーにできるんだよ．センサーは同じものが複数あってもいいし，別々のセンサーを一緒につかってもいいんだ．これでいろんなことができるようになるよ．君たちは，どんなセンサーシステムを作りたいかな？
友だちや先生といろいろ話をしてみよう．

【無線の混信】
みんな，無線の実験，おもしろかった？　離れたところにある機械やコンピュータがつながるって不思議だよね．これって「電波」を使ってるんだよね．小学生のみんなは持ってないかもしれないけど，携帯電話やスマホも電波でつながっているんだよ．

注：電波の原理については，多分，高校の物理で習います．しかし，元祖，電波の通信実験（マルコーニの無線通信）なら，マイクロビット１台でもできます．アルミホイルを丸めたもので受信機，電子ライター（チャッカマン）が送信機になります．「マルコーニの無線通信」や「コヒーラ」をウェブ検索するとヒントが出てきます．

離れていても通信できるなんて，電波って面白いよね．まるで聞こえない「声（音波)」みたい．実は，世の中には，この電波がたくさん飛び交っているんだよ．電波が全部声だったら，相当うるさそうだよね．話ができないよね．

前にやった「センサーデータの無線通信実験」も実は，たくさんのロボットで通信をやったらわやくちゃになるんだ．誰が誰にむかってしゃべっているのか分からなくなるからね．これを無線の混信っていうんだよ．
注：世間一般のマイクロビットのプログラミングでは，混信回避のために最初に必ず無線グループの ID 設定をやるよう

になっています．でも，私たちは，「混信」という失敗を体験させた後で，混信を回避する方法を子どもたちに考えてもらい，その結果として無線グループ ID の設定方法を学んだ方が良いと考えています．

電波や無線の原理はむずかしいけど，混信をなくす方法は，君たちでも思いつけるよ．ヒントは，教室の中で大勢でガヤガヤ話しているってところ．想像してみて！　どうやったら，二人きりで話ができるかなぁ．

注：混信の回避方法の例：（１）送信する人を毎回決める（教室で手を挙げて，その人を指名する，トランシーバーで送信するときだけボタンを押して，「○○です．どーぞ」）．（２）小さな声でひそひそ話す（送信出力を小さくする）．（３）送信周波数を変える（男声と女声ではキーが違う．POS のレジのピッピッなる音は，レジごとに音の高さが違うらしい）．（４）グループを指定する（「２年３組の人，集まれー」）．（５）放送する免許を与える（テレビ局やラジオ局）

混信をなくす方法は，いろいろあるけど，マイクロビットでできることはこんなことだよ．

一つは，話をする人を一人決めて，他の人は静かに聞くってこと．誰が話をするかは，手を挙げたりしてね．トランシーバーっていう機械は，送信するときだけボタンを押して，「○○です．どーぞ」とかやったりするよ．マイクロビットだと，送信する人と受信する人を最初に決めておくんだね．さっきやった実験がこれだったんだ．

他には，みんなが大きな声でしゃべるから聞き取りにくくなるんだから，近くの人とだけひそひそと話をするっていうのがあるよ．これは，僕の隠しコマンドなんだけど，送信設定の[リセット]＋[０]＋[２]のすぐ後（0.5 秒以内）に数字 1 桁を入力すると送信出力を変えられるんだ．送信出力を 1 にしちゃうと，マイクロビット同士をくっつけないと通信できなくなっちゃうくらい弱くなるよ．

注：無線の送信出力は，送信設定コマンドの[リセット]＋[０]＋[２]のすぐ後（0.5 秒以内）に数字 1 桁を入力することで，送信出力を変更することができます．[9]が最大出力になります．何もしなければ，[8]がデフォルトになっています．

逆に，学校の校庭一杯にみんなが走り回って遊んでるときに，ある特定の人だけに話をするのはどうしたらいいと思う？　いろいろやり方はあると思うけど，たとえば，「何年何組の人！　聞いて～」っていうのがあるよね．こんな風に誰に聞いて欲しいのか最初に言っちゃう方法があるよ．マイクロビットでは，これを「無線グループ ID」っていってるよ．
これも僕の隠しコマンドに入っているんだ．無線機能起動コマンドの[リセット]＋[０]＋[３]のすぐ後（0.5 秒以内）に数字 1 桁を入力することでグループ ID になるよ．
さっきの無線通信の実験，クラスでいくつかのグループに分かれて混信回避，できるかな？

注：無線グループ ID の設定方法は，無線機能起動コマンドの[リセット]＋[０]＋[３]のすぐ後（0.5 秒以内）に数字 1 桁を入力することでグループ ID になります．何もしなければ，グループ ID は，[0]になっています．

この他に，電波の周波数を違えるっていうのもあるよ．テレビやスマホも電波を出しているけど，マイクロビットと混信しないのは，この電波の種類が違うからなんだ．

注：マイクロビットの無線周波数は，Wi-Fi（ワイファイ）と同じ，2.4GHz です．電子レンジも同じ周波数を使っています．テレビや携帯電話は，30MHz から 3GHz （UHF, VHF）をバンドをいくつかに分けて使っています．

電波は見えないから種類が違うっていっても分かりにくいかな．
たとえば，音波．男の子の声と女の子の声，大人の声って微妙に違うって思わない．声の高さ，つまり周波数がちょっと違うからみんな聞き分けられているんだよ．犬やネコ，コウモリはもっと高い周波数の音波（声）も聞こえているそうだよ．
ということで，僕の超音波センサ，君たちは全然聞こえてないよね．ちゃんと音を出しているんだよ．
超甲高い声で「あっ」って言って，やまびこみたいに声がはね返ってくる時間を計っているんだ．

注：今回の超音波センサの周波数は，40 KHz です．人が聞こえる周波数（可聴域 20Hz～20KHz）のほぼ倍です．犬やネコには聞こえるそうなので，ペットを飼っている家で超音波センサの実験は控えた方が良いかもしれませんね．

【センサーや無線，モータ（アクチュエータ）を用いた，社会に役立つくみ（システム)】
みんな，ロボットやセンサー，無線の実験，おもしろかったかな？
コンピュータ（プログラム）を組み合わせることで，いろいろ世の中に役に立つものがつくれるよ．
世の中，いろいろ便利になっているけど，君たちが大人になった時には，どんな新しいことができているかな？
みんなでいろいろ話をしてみよう！　みんながいろいろ知恵を出しあって，おたがいに助け合っていければ，もっと素敵なロボットや人工知能ができるんじゃないかな．
僕と一緒に，また，遊ぼうね．

おしまい．

改訂履歴

1.2 版
後編の制御命令のセンサーを使ったプログラムと文章を追加
上級編のデータロガーと無線通信実験の文章を追加
後編に条件付き繰り返し（WHILE 文相当）を追記
前編の基本命令に LED 点灯命令の文章追加
無線の混信の文章を追加

1.3 版
計算機工学や通信工学に関連するいくつか説明を追加