

自律制御型ロボットの研究

3519 鈴木 拓矢 3530 廣瀬 修也 3531 古川 泰地

要旨

ロボカップジュニア・サッカーの試合を見て、そのロボットがどうして正確にボールを追い、ゴールに向かうのか不思議に思った。この疑問を解決するために、自律制御型サッカーロボットを製作、プログラミングして、実際に試合を行った。その結果、ハード面は整備性が良く、同時にロボット同士の衝突に耐えられる構造、ソフト面ではセンサ値を基とした簡単な動作プログラムに変数などを用いて、状況に応じたプログラムの作成が必要だと分かった。

1. 目的

自律制御型ロボットが正確に動く仕組みをロボカップジュニア・サッカーの競技を通し、ハードとソフトの両面から探究する。

2. 使用した器具・装置など

(1) 工具

- ・ペンチ
- ・ニッパー
- ・ドライバー（精密含む）
- ・はんだごて
- ・やすり
- ・ワイヤーストリッパー
- ・圧着ペンチ
- ・グルーガン
- ・ボール盤 ※板に穴をあける工具

(2) 消耗品

- ・電池（単三、単四）
- ・電池ボックス
- ・2 PIN 端子※
- ・3 PIN 端子※
- ※それぞれセンサと基盤を繋ぐための端子
- ・螺子
- ・ナット
- ・スペーサー
- ・はんだ

- ・ユニバーサルプレート
- ・ギヤ付きモーター
- ・スポーツタイヤ
- ・結束バンド
- ・超強力両面テープ
- ・ビニールテープ
- ・偏光板

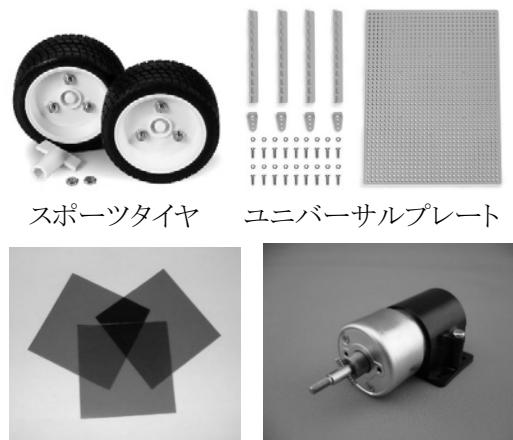


図 1 消耗品の例

(3) 基盤・センサなど

- ・TJ3 b CORE × 2
- ・6 CH モーターアンプ × 2
- ・ボール
- ・ボールセンサ × 10
- ・ラインセンサ × 2
- ・9 D コンパス × 2
- ・超音波センサ × 6

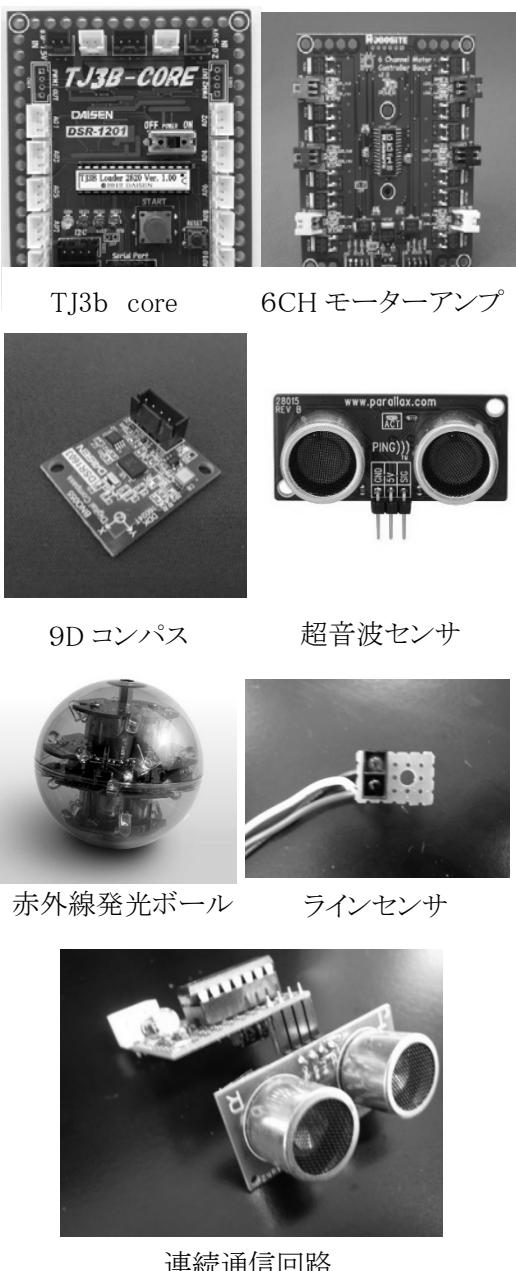


図2 各種基盤・センサの例

(4) その他

- PC
- コード
- C-style for TJ3b
- 5 mm方眼用紙（設計図用）
- 二輪駆動機体（図3）

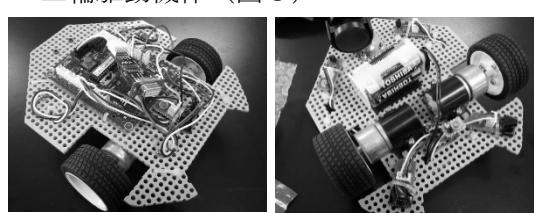


図3 二輪駆動機体（表面と裏面）

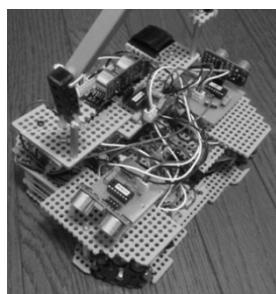


図4 三輪駆動
オムニ型ロボット

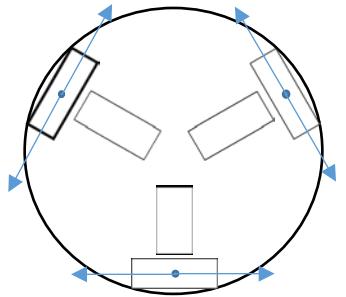


図5 モーター配置とそれ
に対応したベクトル
に関する設計図

3. 研究の手順

目的にあるような技術の習得を確認する方法として、ロボカップジュニア・サッカー部門に出場した。他チームとの試合や交流を通じて自律制御型ロボットのよりよい構造やプログラムの存在を探究した。

(1) 設計

当初、四輪駆動制御のオムニ型ロボットを二台設計しようと考えたが、製作期間が短かったため、二輪制御ロボット、三輪オムニ制御ロボットそれぞれ1台として設計図を作成した。（図5）

(2) プログラムの学習

プログラムは現在主流である「C言語」を使用した。（中学校などで基本的なプログラムの構造は学んだが、目指すのは実際のロボット工学における制御であるため）

「C言語」はプログラムの構造が今までとは格段に違い、難解なものとなつたので、その学習期間だけ、製作と平行して二か月を使って機体に対応したロボット動作プログラムの書き方を習得した。

(3) 製作

センサをそれぞれはんだ付けし、配線を作製後接続した。モーターも同様に TJ3 b core 基盤にはんだ付けした。

メインの板には、市販のユニバーサルプレート（直径3mmの穴が2mm間隔で配置されているもの）を使用した。しかし、設計の

段階でプレートの大きさに合わなかったため、最下段の二枚を、グルーガンで繋いだ。その部分の補強は L 字のプラスチック棒を使用した。

モーターは三輪につける場合それぞれの軸間の角度を合わせて付けなければならなかつた。よって板にボール盤で穴を開け、螺子と結束バンドで止められるよう工夫した。

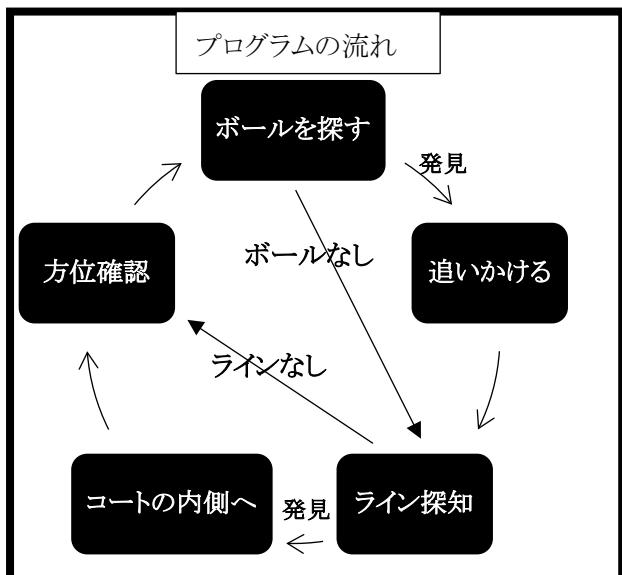
製作の段階で困難に感じたのはボールセンサやラインセンサ、方位センサなどをはんだ付けする必要があつたことである。

(4) プログラムの試行

機体の完成後、作成してきたプログラムに実際の計測値を代入し、試験的に動作させた。しかし、実行する場所の明るさなどによって実際の動きの中では計測値がそのまま使うことができなかつた。これは、プログラム内の反応値を上げることでうまく対応できることができた。

また、過去に考えたプログラムも周囲の明るさや電池の消耗による電圧の変化によってうまく動作しなくなってきたため、条件に合わせた修正プログラムを考えた。

(図6、図7のプログラムの一例を参照)



```

001 //-----  

002 #include "D_Main.h"  

003 #include "D_I2C.h"  

004 #include "D_SIO.h"  

005 #include "D_EIO.h"  

006 //-----  

007 // Program Name : NewF  

008 // main170906[ 1 ].c  

009 void user_main(void)  

010 {  

011     gV[VAR_A] = 0;  

012     while (TRUE) {  

013         gV[VAR_B] = 0;  

014         gV[VAR_C] = 0;  

015         if (gAD[CN10] > 818) {  

016             user_sub_1();  

017             if (gAD[CN9] < 255) {  

018                 if (gAD[CN9] < 255) {  

019                     if (gAD[CN9] < 255) {  

020                         if (gAD[CN9] < 255) {  

021                             if (gAD[CN9] < 255) {  

022                             if (gAD[CN9] < 255) {  

023                             if (gAD[CN9] < 255) {  

024                             if (gAD[CN9] < 255) {  

025                             if (gAD[CN9] < 255) {  

026                             if (gAD[CN9] < 255) {  

027                             if (gAD[CN9] < 255) {  

028                             if (gAD[CN9] < 255) {  

029                             if (gAD[CN9] < 255) {  

030                             if (gAD[CN9] < 255) {  

031                             if (gAD[CN9] < 255) {  

032                             if (gAD[CN9] < 255) {  

033                             if (gAD[CN9] < 255) {  

034                             if (gAD[CN9] < 255) {  

035                             if (gAD[CN9] < 255) {  

036                             if (gAD[CN9] < 255) {  

037                             if (gAD[CN9] < 255) {  

038                             if (gAD[CN9] < 255) {  

039                             if (gAD[CN9] < 255) {  

040                             if (gAD[CN9] < 255) {  

041                             if (gAD[CN9] < 255) {  

042                             if (gAD[CN9] < 255) {  

043                             if (gAD[CN9] < 255) {  

044                             if (gAD[CN9] < 255) {  

045                             if (gAD[CN9] < 255) {  

046                             if (gAD[CN9] < 255) {  

047                             if (gAD[CN9] < 255) {  

048                             if (gAD[CN9] < 255) {  

049                             if (gAD[CN9] < 255) {  

050                             if (gAD[CN9] < 255) {  

051                             if (gAD[CN9] < 255) {  

052                             if (gAD[CN9] < 255) {  

053                             if (gAD[CN9] < 255) {  

054                             if (gAD[CN9] < 255) {  

055                             if (gAD[CN9] < 255) {  

056                             if (gAD[CN9] < 255) {  

057                             if (gAD[CN9] < 255) {  

058                             if (gAD[CN9] < 255) {  

059                             if (gAD[CN9] < 255) {  

060                             if (gAD[CN9] < 255) {  

061                             if (gAD[CN9] < 255) {  

062                             if (gAD[CN9] < 255) {  

063                             if (gAD[CN9] < 255) {  

064                             if (gAD[CN9] < 255) {  

065                             if (gAD[CN9] < 255) {  

066                             if (gAD[CN9] < 255) {  

067                             if (gAD[CN9] < 255) {  

068                             if (gAD[CN9] < 255) {  

069                             if (gAD[CN9] < 255) {  

070                             if (gAD[CN1] > 664) {  

071                             if (gAD[CN1] > 869) {  

072                             if (gAD[CN8] < 511) {  

073                             if (gAD[CN8] < 511) {  

074                             if (gAD[CN8] < 511) {  

075                             if (gAD[CN8] < 511) {  

076                             if (gAD[CN8] < 511) {  

077                             if (gAD[CN8] < 511) {  

078                             if (gAD[CN8] < 511) {  

079                             if (gAD[CN8] < 511) {  

080                             if (gAD[CN8] < 511) {  

081                             if (gAD[CN8] < 511) {  

082                             if (gAD[CN8] < 511) {  

083                             if (gAD[CN8] < 511) {  

084                             if (gAD[CN8] < 511) {  

085                             if (gAD[CN8] < 511) {  

086                             if (gAD[CN8] < 511) {  

087                             if (gAD[CN8] < 511) {  

088                             if (gAD[CN8] < 511) {  

089                             if (gAD[CN8] < 511) {  

090                             if (gAD[CN8] < 511) {  

091                             if (gAD[CN8] < 511) {  

092                             if (gAD[CN8] < 511) {  

093                             if (gAD[CN8] < 511) {  

094                             if (gAD[CN8] < 511) {  

095                             if (gAD[CN8] < 511) {  

096                             if (gAD[CN8] < 511) {  

097                             if (gAD[CN8] < 511) {  

098                             if (gAD[CN8] < 511) {  

099                             if (gAD[CN8] < 511) {  

100                             if (gAD[CN8] < 511) {  

101                             if (gAD[CN8] < 511) {  

102                             if (gAD[CN8] < 511) {  

103                             if (gAD[CN8] < 511) {  

104                             if (gAD[CN8] < 511) {  

105                             if (gAD[CN8] < 511) {  

106                             if (gAD[CN8] < 511) {  

107                             if (gAD[CN8] < 511) {  

108                             if (gAD[CN8] < 511) {  

109                             if (gAD[CN8] < 511) {  

110                             if (gAD[CN8] < 511) {  

111                             if (gAD[CN8] < 511) {  

112                             if (gAD[CN8] < 511) {  

113                             if (gAD[CN8] < 511) {  

114                             if (gAD[CN8] < 511) {  

115                             if (gAD[CN8] < 511) {  

116                             if (gAD[CN8] < 511) {  

117                             if (gAD[CN8] < 511) {  

118                             if (gAD[CN8] < 511) {  

119                             if (gAD[CN8] < 511) {  

120                             if (gAD[CN8] < 511) {  

121                             if (gAD[CN8] < 511) {  

122                             if (gAD[CN8] < 511) {  

123                             if (gAD[CN8] < 511) {  

124                             if (gAD[CN8] < 511) {  

125                             if (gAD[CN8] < 511) {  

126                             if (gAD[CN8] < 511) {  

127                             if (gAD[CN8] < 511) {  

128                             if (gAD[CN8] < 511) {  

129                             if (gAD[CN8] < 511) {  

130                             if (gAD[CN8] < 511) {  

131                             if (gAD[CN8] < 511) {  

132                             if (gAD[CN8] < 511) {  

133                             if (gAD[CN8] < 511) {  

134                             if (gAD[CN8] < 511) {  

135                             if (gAD[CN8] < 511) {  

136                             if (gAD[CN8] < 511) {  

137                             if (gAD[CN8] < 511) {  

138                             if (gAD[CN8] < 511) {  

139                             if (gAD[CN8] < 511) {  

140                             if (gAD[CN8] < 511) {  

141                             if (gAD[CN8] < 511) {  

142                             if (gAD[CN8] < 511) {  

143                             if (gAD[CN8] < 511) {  

144                             if (gAD[CN8] < 511) {  

145                             if (gAD[CN8] < 511) {  

146                             if (gAD[CN8] < 511) {  

147                             if (gAD[CN8] < 511) {  

148                             if (gAD[CN8] < 511) {  

149                             if (gAD[CN8] < 511) {  

150                             if (gAD[CN8] < 511) {  

151                             if (gAD[CN8] < 511) {  

152                             if (gAD[CN8] < 511) {  

153                             if (gAD[CN8] < 511) {  

154                             if (gAD[CN8] < 511) {  

155                             if (gAD[CN8] < 511) {  

156                             if (gAD[CN8] < 511) {  

157                             if (gAD[CN8] < 511) {  

158                             if (gAD[CN8] < 511) {  

159                             if (gAD[CN8] < 511) {  

160                             if (gAD[CN8] < 511) {  

161                             if (gAD[CN8] < 511) {  

162                             if (gAD[CN8] < 511) {  

163                             if (gAD[CN8] < 511) {  

164                             if (gAD[CN8] < 511) {  

165                             if (gAD[CN8] < 511) {  

166                             if (gAD[CN8] < 511) {  

167                             if (gAD[CN8] < 511) {  

168                             if (gAD[CN8] < 511) {  

169                             if (gAD[CN8] < 511) {  

170                             if (gAD[CN8] < 511) {  

171                             if (gAD[CN8] < 511) {  

172                             if (gAD[CN8] < 511) {  

173                             if (gAD[CN8] < 511) {  

174                             if (gAD[CN8] < 511) {  

175                             if (gAD[CN8] < 511) {  

176                             if (gAD[CN8] < 511) {  

177                             if (gAD[CN8] < 511) {  

178                             if (gAD[CN8] < 511) {  

179                             if (gAD[CN8] < 511) {  

180                             if (gAD[CN8] < 511) {  

181                             if (gAD[CN8] < 511) {  

182                             if (gAD[CN8] < 511) {  

183                             if (gAD[CN8] < 511) {  

184                             if (gAD[CN8] < 511) {  

185                             if (gAD[CN8] < 511) {  

186                             if (gAD[CN8] < 511) {  

187                             if (gAD[CN8] < 511) {  

188                             if (gAD[CN8] < 511) {  

189                             if (gAD[CN8] < 511) {  

190                             if (gAD[CN8] < 511) {  

191                             if (gAD[CN8] < 511) {  

192                             if (gAD[CN8] < 511) {  

193                             if (gAD[CN8] < 511) {  

194                             if (gAD[CN8] < 511) {  

195                             if (gAD[CN8] < 511) {  

196                             if (gAD[CN8] < 511) {  

197                             if (gAD[CN8] < 511) {  

198                             if (gAD[CN8] < 511) {  

199                             if (gAD[CN8] < 511) {  

200                             if (gAD[CN8] < 511) {  

201                             if (gAD[CN8] < 511) {  

202                             if (gAD[CN8] < 511) {  

203                             if (gAD[CN8] < 511) {  

204                             if (gAD[CN8] < 511) {  

205                             if (gAD[CN8] < 511) {  

206                             if (gAD[CN8] < 511) {  

207                             if (gAD[CN8] < 511) {  

208                             if (gAD[CN8] < 511) {  

209                             if (gAD[CN8] < 511) {  

210                             if (gAD[CN8] < 511) {  

211                             if (gAD[CN8] < 511) {  

212                             if (gAD[CN8] < 511) {  

213                             if (gAD[CN8] < 511) {  

214                             if (gAD[CN8] < 511) {  

215                             if (gAD[CN8] < 511) {  

216                             if (gAD[CN8] < 511) {  

217                             if (gAD[CN8] < 511) {  

218                             if (gAD[CN8] < 511) {  

219                             if (gAD[CN8] < 511) {  

220                             if (gAD[CN8] < 511) {  

221                             if (gAD[CN8] < 511) {  

222                             if (gAD[CN8] < 511) {  

223                             if (gAD[CN8] < 511) {  

224                             if (gAD[CN8] < 511) {  

225                             if (gAD[CN8] < 511) {  

226                             if (gAD[CN8] < 511) {  

227                             if (gAD[CN8] < 511) {  

228                             if (gAD[CN8] < 511) {  

229                             if (gAD[CN8] < 511) {  

230                             if (gAD[CN8] < 511) {  

231                             if (gAD[CN8] < 511) {  

232                             if (gAD[CN8] < 511) {  

233                             if (gAD[CN8] < 511) {  

234                             if (gAD[CN8] < 511) {  

235                             if (gAD[CN8] < 511) {  

236                             if (gAD[CN8] < 511) {  

237                             if (gAD[CN8] < 511) {  

238                             if (gAD[CN8] < 511) {  

239                             if (gAD[CN8] < 511) {  

240                             if (gAD[CN8] < 511) {  

241                             if (gAD[CN8] < 511) {  

242                             if (gAD[CN8] < 511) {  

243                             if (gAD[CN8] < 511) {  

244                             if (gAD[CN8] < 511) {  

245                             if (gAD[CN8] < 511) {  

246                             if (gAD[CN8] < 511) {  

247                             if (gAD[CN8] < 511) {  

248                             if (gAD[CN8] < 511) {  

249                             if (gAD[CN8] < 511) {  

250                             if (gAD[CN8] < 511) {  

251                             if (gAD[CN8] < 511) {  

252                             if (gAD[CN8] < 511) {  

253                             if (gAD[CN8] < 511) {  

254                             if (gAD[CN8] < 511) {  

255                             if (gAD[CN8] < 511) {  

256                             if (gAD[CN8] < 511) {  

257                             if (gAD[CN8] < 511) {  

258                             if (gAD[CN8] < 511) {  

259                             if (gAD[CN8] < 511) {  

260                             if (gAD[CN8] < 511) {  

261                             if (gAD[CN8] < 511) {  

262                             if (gAD[CN8] < 511) {  

263                             if (gAD[CN8] < 511) {  

264                             if (gAD[CN8] < 511) {  

265                             if (gAD[CN8] < 511) {  

266                             if (gAD[CN8] < 511) {  

267                             if (gAD[CN8] < 511) {  

268                             if (gAD[CN8] < 511) {  

269                             if (gAD[CN8] < 511) {  

270                             if (gAD[CN8] < 511) {  

271                             if (gAD[CN8] < 511) {  

272                             if (gAD[CN8] < 511) {  

273                             if (gAD[CN8] < 511) {  

274                             if (gAD[CN8] < 511) {  

275                             if (gAD[CN8] < 511) {  

276                             if (gAD[CN8] < 511) {  

277                             if (gAD[CN8] < 511) {  

278                             if (gAD[CN8] < 511) {  

279                             if (gAD[CN8] < 511) {  

280                             if (gAD[CN8] < 511) {  

281                             if (gAD[CN8] < 511) {  

282                             if (gAD[CN8] < 511) {  

283                             if (gAD[CN8] < 511) {  

284                             if (gAD[CN8] < 511) {  

285                             if (gAD[CN8] < 511) {  

286                             if (gAD[CN8] < 511) {  

287                             if (gAD[CN8] < 511) {  

288                             if (gAD[CN8] < 511) {  

289                             if (gAD[CN8] < 511) {  

290                             if (gAD[CN8] < 511) {  

291                             if (gAD[CN8] < 511) {  

292                             if (gAD[CN8] < 511) {  

293                             if (gAD[CN8] < 511) {  

294                             if (gAD[CN8] < 511) {  

295                             if (gAD[CN8] < 511) {  

296                             if (gAD[CN8] < 511) {  

297                             if (gAD[CN8] < 511) {  

298                             if (gAD[CN8] < 511) {  

299                             if (gAD[CN8] < 511) {  

300                             if (gAD[CN8] < 511) {  

301                             if (gAD[CN8] < 511) {  

302                             if (gAD[CN8] < 511) {  

303                             if (gAD[CN8] < 511) {  

304                             if (gAD[CN8] < 511) {  

305                             if (gAD[CN8] < 511) {  

306                             if (gAD[CN8] < 511) {  

307                             if (gAD[CN8] < 511) {  

308                             if (gAD[CN8] < 511) {  

309                             if (gAD[CN8] < 511) {  

310                             if (gAD[CN8] < 511) {  

311                             if (gAD[CN8] < 511) {  

312                             if (gAD[CN8] < 511) {  

313                             if (gAD[CN8] < 511) {  

314                             if (gAD[CN8] < 511) {  

315                             if (gAD[CN8] < 511) {  

316                             if (gAD[CN8] < 511) {  

317                             if (gAD[CN8] < 511) {  

318                             if (gAD[CN8] < 511) {  

319                             if (gAD[CN8] < 511) {  

320                             if (gAD[CN8] < 511) {  

321                             if (gAD[CN8] < 511) {  

322                             if (gAD[CN8] < 511) {  

323                             if (gAD[CN8] < 511) {  

324                             if (gAD[CN8] < 511) {  

325                             if (gAD[CN8] < 511) {  

326                             if (gAD[CN8] < 511) {  

327                             if (gAD[CN8] < 511) {  

328                             if (gAD[CN8] < 511) {  

329                             if (gAD[CN8] < 511) {  

330                             if (gAD[CN8] < 511) {  

331                             if (gAD[CN8] < 511) {  

332                             if (gAD[CN8] < 511) {  

333                             if (gAD[CN8] < 511) {  

334                             if (gAD[CN8] < 511) {  

335                             if (gAD[CN8] < 511) {  

336                             if (gAD[CN8] < 511) {  

337                             if (gAD[CN8] < 511) {  

338                             if (gAD[CN8] < 511) {  

339                             if (gAD[CN8] < 511) {  

340                             if (gAD[CN8] < 511) {  

341                             if (gAD[CN8] < 511) {  

342                             if (gAD[CN8] < 511) {  

343                             if (gAD[CN8] < 511) {  

344                             if (gAD[CN8] < 511) {  

345                             if (gAD[CN8] < 511) {  

346                             if (gAD[CN8] < 511) {  

347                             if (gAD[CN8] < 511) {  

348                             if (gAD[CN8] < 511) {  

349                             if (gAD[CN8] < 511) {  

350                             if (gAD[CN8] < 511) {  

351                             if (gAD[CN8] < 511) {  

352                             if (gAD[CN8] < 511) {  

353                             if (gAD[CN8] < 511) {  

354                             if (gAD[CN8] < 511) {  

355                             if (gAD[CN8] < 511) {  

356                             if (gAD[CN8] < 511) {  

357                             if (gAD[CN8] < 511) {  

358                             if (gAD[CN8] < 511) {  

359                             if (gAD[CN8] < 511) {  

360                             if (gAD[CN8] < 511) {  

361                             if (gAD[CN8] < 511) {  

362                             if (gAD[CN8] < 511) {  

363                             if (gAD[CN8] < 511) {  

364                             if (gAD[CN8] < 511) {  

365                             if (gAD[CN8] < 511) {  

366                             if (gAD[CN8] < 511) {  

367                             if (gAD[CN8] < 511) {  

368                             if (gAD[CN8] < 511) {  

369                             if (gAD[CN8] < 511) {  

370                             if (gAD[CN8] < 511) {  

371                             if (gAD[CN8] < 511) {  

372                             if (gAD[CN8] < 511) {  

373                             if (gAD[CN8] < 511) {  

374                             if (gAD[CN8] < 511) {  

375                             if (gAD[CN8] < 511) {  

376                             if (gAD[CN8] < 511) {  

377                             if (gAD[CN8] < 511) {  

378                             if (gAD[CN8] < 511) {  

379                             if (gAD[CN8] < 511) {  

380                             if (gAD[CN8] < 511) {  

381                             if (gAD[CN8] < 511) {  

382                             if (gAD[CN8] < 511) {  

383                             if (gAD[CN8] < 511) {  

384                             if (gAD[CN8] < 511) {  

385                             if (gAD[CN8] < 511) {  

386                             if (gAD[CN8] < 511) {  

387                             if (gAD[CN8] < 511) {  

388                             if (gAD[CN8] < 511) {  

389                             if (gAD[CN8] < 511) {  

390                             if (gAD[CN8] < 511) {  

391                             if (gAD[CN8] < 511) {  

392                             if (gAD[CN8] < 511) {  

393                             if (gAD[CN8] < 511) {  

394                             if (gAD[CN8] < 511) {  

395                             if (gAD[CN8] < 511) {  

396                             if (gAD[CN8] < 511) {  

397                             if (gAD[CN8] < 511) {  

398                             if (gAD[CN8] < 511) {  

399                             if (gAD[CN8] < 511) {  

400                             if (gAD[CN8] < 511) {  

401                             if (gAD[CN8] < 511) {  

402                             if (gAD[CN8] < 511) {  

403                             if (gAD[CN8] < 511) {  

404                             if (gAD[CN8] < 511) {  

405                             if (gAD[CN8] < 511) {  

406                             if (gAD[CN8] < 511) {  

407                             if (gAD[CN8] < 511) {  

408                             if (gAD[CN8] < 511) {  

409                             if (gAD[CN8] < 511) {  

410                             if (gAD[CN8] < 511) {  

411                             if (gAD[CN8] < 511) {  

412                             if (gAD[CN8] < 511) {  

413                             if (gAD[CN8] < 511) {  

414                             if (gAD[CN8] < 511) {  

415                             if (gAD[CN8] < 511) {  

416                             if (gAD[CN8] < 511) {  

417                             if (gAD[CN8] < 511) {  

418                             if (gAD[CN8] < 511) {  

419                             if (gAD[CN8] < 511) {  

420                             if (gAD[CN8] < 511) {  

421                             if (gAD[CN8] < 511) {  

422                             if (gAD[CN8] < 511) {  

423                             if (gAD[CN8] < 511) {  

424                             if (gAD[CN8] < 511) {  

425                             if (gAD[CN8] < 511) {  

426                             if (gAD[CN8] < 511) {  

427                             if (gAD[CN8] < 511) {  

428                             if (gAD[CN8] < 511) {  

429                             if (gAD[CN8] < 511) {  

430                             if (gAD[CN8] < 511) {  

431                             if (gAD[CN8] < 511) {  

432                             if (gAD[CN8] < 511) {  

433                             if (gAD[CN8] < 511) {  

434                             if (gAD[CN8] < 511) {  

435                             if (gAD[CN8] < 511) {  

436                             if (gAD[CN8] < 511) {  

437                             if (gAD[CN8] < 511) {  

438                             if (gAD[CN8] < 511) {  

439                             if (gAD[CN8] < 511) {  

440                             if (gAD[CN8] <
```

```

082     gPwm[3] = 0x50;
083     pwm_out();
084 } else {
085     gPwm[0] = 0x50;
086     gPwm[1] = 0x50;
087     gPwm[2] = 0x50;
088     gPwm[3] = 0x50;
089     pwm_out();
090 }
091 } else {
092     if (gAD[CN2] > 716) {
093         user_sub_2();
094         continue;
095     } else if (gAD[CN3] > 716) {
096         user_sub_3();
097         continue;
098     }
099 }
100 } else if (gAD[CN2] > 613) {
101     user_sub_2();
102     if (gV[VAR_A] == 1) {
103         continue;
104     }
105     if (gAD[CN1] > 869) {
106         user_sub_4();
107     } else {
108         continue;
109     }
110 } else if (gAD[CN3] > 613) {
111     user_sub_3();
112     if (gV[VAR_A] == 1) {
113         continue;
114     }
115     if (gAD[CN1] > 869) {
116         user_sub_4();
117     } else {
118         continue;
119     }
120 } else {
121     if (gAD[CN4] > 613) {
122         user_sub_5();
123         if (gV[VAR_A] == 1) {
124             continue;
125         }
126     } else if (gAD[CN5] > 613) {
127         user_sub_6();
128         if (gV[VAR_A] == 1) {
129             continue;
130         }
131     }
132 }
133 gV[VAR_B] = gV[VAR_B] + 1;
134 if (gV[VAR_B] == 600) {
135     while (gAD[CN9] > 102)
136         user_sub_1();
137
138     if (gAD[CN7] > 613) {
139         if (gAD[CN8] > 613) {
140             gPwm[0] = 0x28 | 0x80;
141             gPwm[1] = 0x28 | 0x80;
142             gPwm[2] = 0x28 | 0x80;
143             gPwm[3] = 0x28 | 0x80;
144             pwm_out();
145         } else {
146             gPwm[0] = 0x28;
147             gPwm[1] = 0x28 | 0x80;
148             gPwm[2] = 0x28;
149             gPwm[3] = 0x28;
150             pwm_out();
151         }
152     } else {
153         gPwm[0] = 0x28 | 0x80;
154         gPwm[1] = 0x28;
155         gPwm[2] = 0x28;
156         gPwm[3] = 0x28 | 0x80;
157         pwm_out();
158     }
159 }
160
161
162
163

```

変数でプログラムの周回数を計算

If文以降、ボールがなかった場合に方向を確認

ループ終了

プログラム終了

図7 使用したプログラム例

(5) 競技会への参加

ロボカップジュニア・サッカーの試合を通してロボットの課題点を探った。

参加した試合は8月に行われた交流試合と12月に行われたロボカップ本戦へつながる中津川ノード大会である。

交流試合では、他のロボカップ選手と試合、交流することでロボットの構造、プログラムの新たな知見を得た。実際の試合でロボットが使用するセンサ値は常に変動し、値に合わせてプログラムを書く必要があることも理解した。

中津川ノード大会では本戦と同じ試合方式だったため、試合中に発生した不具合の即時修正の必要性を知った。設計の部分では予期していなかった基盤の整備性が悪かったことを、試合を通じて発見し、試合の空いた時間に修正を施すことができた。

試合結果は総当たりで同率1位となったため延長戦が実施され、最終順位は2位だった。

表1 中津川ノード大会結果

トーナメント			
	ESSH	RN	B&W
ESSH	吉川 五瀬	山口 石井	マカローネ 原田
RN	6:2	3:0	1:3
B&W	0:3	1:2	2:0

この結果を踏まえ、県のロボカップジュニア、ブロック大会へ出場し、さらに高度な技術の交流や習得をしようと考えている。

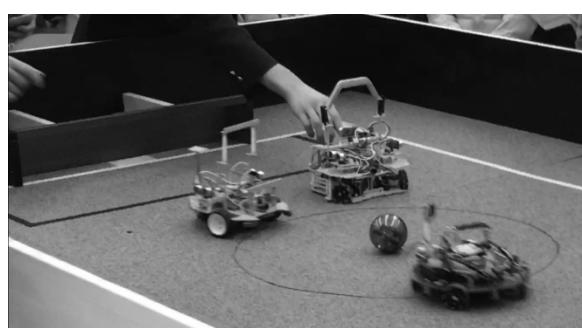


図8 中津川ノード大会の様子

(6) 競技会の観戦

7月に愛知県で開催された「ロボカップジュニア世界大会 in 名古屋」、12月9日に愛知工業大学付属高校で行われたロボカップジュニア東海ブロック大会(図9)の観戦、競技者との交流を行った。

世界大会には、さまざまな国から競技者が訪れており、それらのチームのポスターを見て、ロボットの構造の改良した点などから自分たちにも使える技術に関する知識を得た。

東海ブロック大会では強豪チームの試合を録画し、動作の良い部分をそのチームの人と交流してなぜ良かったのか、使用した部品や工具、プログラムの方法などの観点から話し合った。



図9 東海ブロック大会会場
(愛知工業大学付属高校)

(7) 実際行った細かな仕様の改善など

①偏光板

偏光板とは、ある一定の光を通す構造をもつ薄い板の総称であり、今回私たちは板に対して垂直の光のみを通過させるタイプの偏光板を用いた。

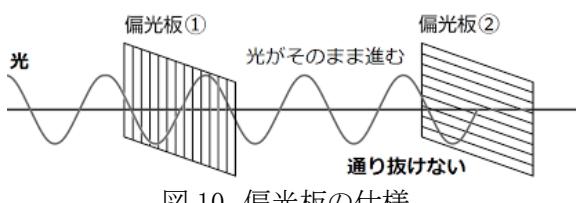


図10 偏光板の仕様

この偏光板を、超強力両面テープでボールセンサに付けることで、その方向だけの赤外線を読み取れるようにした。

②ボールセンサについて

初め、受光部、コンデンサ、抵抗だけを積んだ単純な回路のものを使用したが、後にノイズが発生する欠陥が見つかり改良した。

この欠陥は、回路内に電流のノイズが発生し、それによって赤外線に対する反応が鈍くなってしまうものであった。そのため回路内に、受光部に入る電流を 30mA 秒毎に 0A にする回路を組み込んだ。この改良により赤外線ボールに対する反応が上がった。

表3 ボールセンサ値と角度の関係

角度	左側	右側
10°	48	48
20°	48	48
30°	48	48
40°	48	48
50°	55	55

※すべてセンサから 10cm 離れた位置で測定

表2 ボールセンサ値と距離の関係

距離	旧型センサ値	新型センサ値
0.20m	62	50
0.40m	65	54
0.60m	71	58
0.80m	72	62
1.00m	72	66

※すべてセンサ正面から測定

③超音波センサについて

超音波センサの動作方式は「I/O」通信方式となっており、これは基盤側からデータの取得を指示された時だけに基盤へのデータ出力を行うものとなっている。

基本的に、この方式をとることで電力の消耗を抑え、長時間の運用に適した形となっていた。だが、今回参加するロボカップ・サッカーでは瞬時の自己判断が求められて

いるため、基盤側から指示するよりも早くセンサ値を受け取る必要がある。よって、超音波センサの値を永続的に出力し続ける回路を作成し、これを機体に組み込んだ。仕様は以下に示す。

「超音波センサ HC-SR04 駆動基板」

- ・4端子超音波距離センサ
- ・Trg端子に $10\mu s$ のパルス入力が入ると測定開始。
- ・超音波パルスの戻りを検知しEcho端子に $150\mu s \sim 25ms$ のパルスを出力。
- ・この動作をR8Cm11マイコンで $100ms$ 毎に繰り返し、測定結果を2回平均してADポートに出力する。
- ・C-styleのセンサーモニターで物体までの距離が3cmの時約4%，1mの時約22%が出る。
- ・ほぼ5cmで1%変化する値が得られる。

4. 結果

試合に2回参加し以下のことが分かった。

- ・自律制御型ロボットにはセンサ同士の干渉があるため、干渉しない機械構造に改良するか、プログラム内で干渉している条件を満たす場合に動作を変更する一連の自律制御が必要である。
- ・プログラムの試行ができるだけ増やすことで動作環境でのセンサ値を発見し、プログラムに組み込むことが必要である。

5. 中間考察

正確な自律制御を確立させるには、結果で述べた方法の他にも、あらゆる状況を想定し、プログラムを組み込むことが必要だと考えられる。

6. 制御方法の改良

私たちは大会参加などの経験から、プログラムの製作段階に、オブジェクト指向の考え方、また、新たな制御方法にPID制御の必要性を感じた。

① オブジェクト指向について

オブジェクト指向とは、プログラム内のオブジェクトどうしの相互作用を基としてシステムの動作を捉える考え方であり、情報工学の基本的概念である。

オブジェクト指向には「クラスベース」方式、「プロトタイプベース」方式、「Mixin」方式の三つの方式があり、今回私たちはプロトタイプベース方式、Mixin方式を主としてプログラムを作成した。

Mixin方式は、オブジェクトの原型を組み合わせて一つのオブジェクトを構成する方法である。

プロトタイプベース方式は今回、私たちはセンサ値を基礎としてオブジェクトを取り扱った。

運用方法として、

- 1, それぞれのセンサの入力値に対し、演算処理するオブジェクト
 - 2, その後、各個で出力に関する変数を指定するオブジェクト
 - 3, 2で指定された変数を総合して出力に変換するオブジェクト
- の三つを主なオブジェクトとして扱った。

上記によって、オブジェクト各個で正しく動作するかの確認が容易くなり、より複雑で状況適応度の高いプログラム、例えばただ挿入するだけで使用可能な状態のプログラムの作成を行うことができた。

② PID制御について

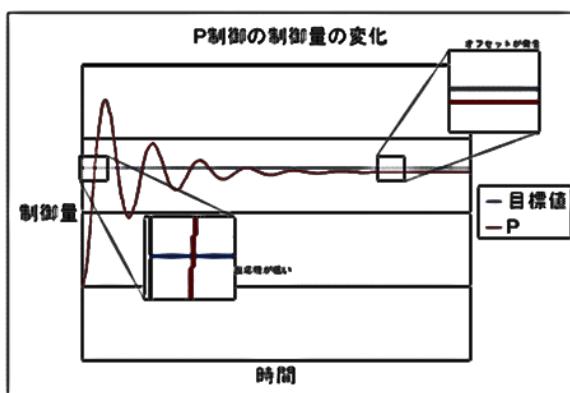
PID制御とはロボットのさまざまな動作を正確に行えるようにする演算方式のことである。

私たちにおけるPID制御への発展の手順

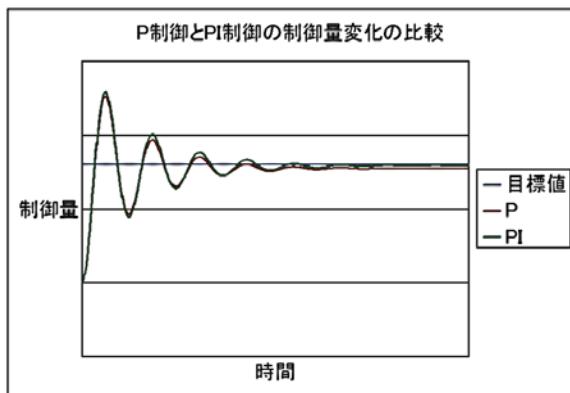
として、

1, センサ値の範囲を指定し、その値にあるときは一つの動きを行う方法

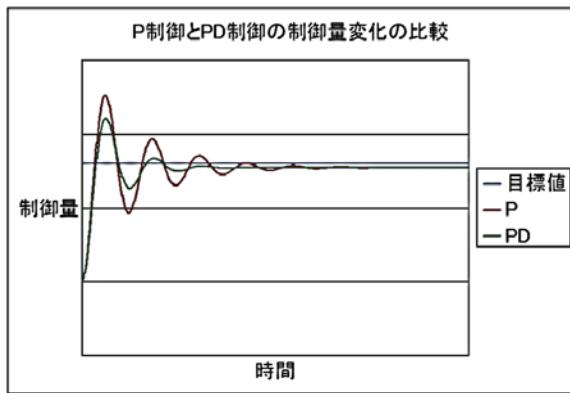
2, センサ値に対し、比例した値を出力する方法（比例制御）



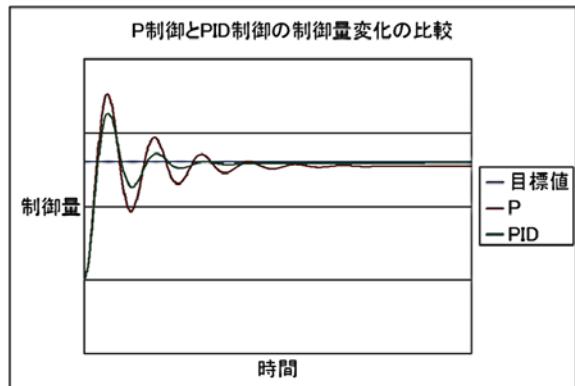
3, 2に加えて、センサ値を記録し、指定範囲の偏差を合計した値を出力して、目標に追従する形の動作をとる方法（比例積分制御）



4, 2に加えて、センサ値のずれの単位時間あたりの変化率を出力に代入することで、目標値に向かって緩やかに近づくようにする方式（比例微分制御）



5, 3と4の方法を組み合わせて、揺れ動く目標値に対し、それまでの値の変化などから予測移動する方式（比例積分微分制御）



の順に研究を進めてきた。

また、それぞれの段階において問題が発生していたので、それを以下に記す。

- ・比例制御

ロボットは現実世界で動くので、機械的出力では多くの摩擦現象によって目標値に到達することができないことがある。これを定常偏差またはオフセットという。

- ・比例積分制御

積分時間が小さいほど比例制御の定常偏差の矯正が素早く行われるが、小さすぎると目標値の付近で出力が振動したり、目標値から振り切れたりしてしまうことがある。これらをそれぞれハンチング、オーバーシュートという。

- ・比例微分制御

微分成分は、目標値に対して急激な変化が起こった時にその変化の大きさに比例した入力を行うことで変化に抗う効果を果たすが、比例制御で発生した定常偏差を完全に消し去ることができない。

比例積分微分制御では、定常偏差を積分成分で、ハンチング、オーバーシュートを微分成分で打ち消すことができた。それによって目標値に素早く正確に近づくことができるようになった。

7. 最終考察

また、新たな知見として与えられたオブジェクト指向と PID 制御について、プログラム技術の向上や、プログラムの振る舞いについての理解を深めることができた。現実世界での制御を正しく行うために PID 制御を働かせ、オブジェクト指向によって中間考察で書かれたように、様々な状況に適応したプログラムの作成ができ、自律制御型ロボットは極めて正確に動くと考えられる。

8. 参考文献、引用資料

- TJ3b C-Style 操作編

www.daisendenshi.com/download/TJ3B_C-StyleManual_2-161015.pdf

- TJ3b Core マニュアル

www.daisendenshi.com/download/TJ3BCore_Manual-130225.pdf

- 制御の基礎 - 東北学院大学

http://www.mech.tohoku-gakuin.ac.jp/rde/contents/sendai/mechatronics/archive/RMSeminar_No09_s8.pdf

- C-Style で PID 制御 - 熊工房 ohguma の腹凹ませたい日記

<http://d.hatena.ne.jp/ohguma/20161010#p1>

- EXCEL で PID 制御をシミュレーション - 自作のいろいろ

<https://garchiving.com/pid-control-simulation^=excel/>