

ET ロボコン 2022 参加報告

山口 広行[†]

Participation Report for Embedded Technology Software Design Robot Contest 2022

Hiroyuki YAMAGUCHI

ABSTRACT

We have participated in Embedded Technology Software Design Robot Contest (ET Robocon) from 2008. In this contest, the participants compete in the software development skills by using the same robot and the same course. In this report, an overview and our participation result of ET Robocon 2022 (Primary Class) are reported. Since we have developed the high-quality robot control software, we won the first place in model category and the second place overall in Tohoku Division. Furthermore, we won the second place in the competitive category of the Championship Competition. We also confirmed that our methods of the software development are effective.

Key Words: embedded technology, software development, engineering education

キーワード：組込み技術, ソフトウェア開発, 工学教育

1. はじめに

IoT (Internet of Things) の進展もあり、自動車や家電製品等に、コンピュータシステム (組込みシステム) を利用することが一般的になり、その用途も拡大を続けている。それに伴い、組込みシステム上で動作するソフトウェア (組込みソフトウェア) の品質向上と、技術者の育成が課題となっている。そこで当研究室では、組込みソフトウェア分野における技術教育をテーマにした、ET ソフトウェアデザインロボットコンテスト (以下、ET ロボコン)¹⁾に着目し、2008年より卒業研究の一環として毎年参加している。

本報告では、ET ロボコン 2022 の概要と当研究室の参加結果について紹介する。

2. ET ロボコンの概要

2.1 ET ロボコンの特徴

ET ロボコンは (一社) 組込みシステム技術協会 (JASA) が主催する、ソフトウェアの開発技術

[†] 工学部工学科システム情報工学コース・准教授

を競うコンテストである。例年、参加チームの約半数が企業チームと、産学の垣根を越えて開催される点が ET ロボコンの大きな特徴の一つである。また 2019 年には社会の情報化促進への貢献が認められ、経済産業大臣賞を受賞している。

もう一つの大きな特徴は、全チームが同じロボット（走行体）を用いる点である。ET ロボコンの走行体はレゴ社の製品が用いられるが、組み立て方法は全て指定されており、大会では走行体の検査（車検）も行われる。このことによりハードウェアの条件を同一にし、走行体を制御するソフトウェアのみを競うというコンテストの趣旨を実現している。ET ロボコン 2022 で用いられた走行体を、図 1 に示す。今年は、以前より使われていた HackEV（図 1 左）に HackSPi（図 1 右）という走行体新たに加わった。これは HackEV のベースとなるレゴ社マインドストーム EV3 の生産終了に伴う経過措置であり、2022 大会では参加チームがどちらの走行体を利用するかを決めることができた。

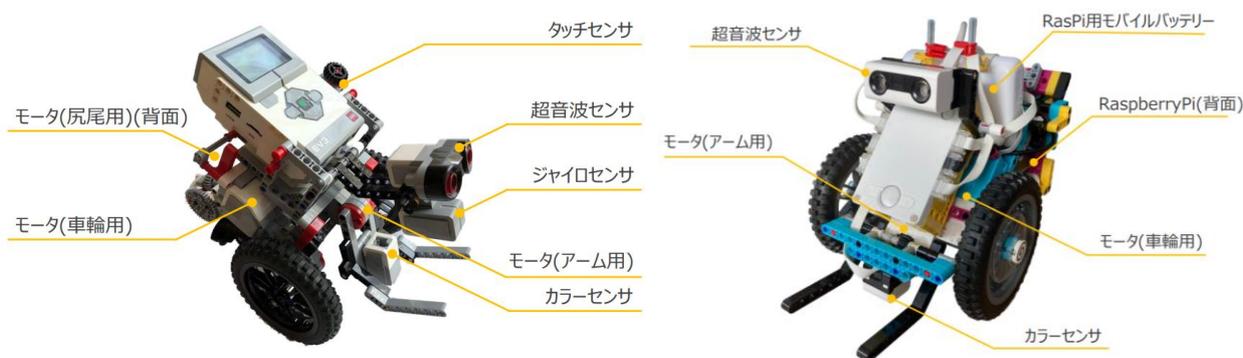


図 1 ET ロボコン 2022 の走行体（左：HackEV、右：HackSPi）

2.2 ET ロボコン 2022 の概要

2022 大会は昨年と同じ 3 クラス制で開催された。システム開発の体験を目的としたエントリークラス、モデリング（分析・設計）をシステム開発に適用することを目的としたプライマリークラス、モデリングを駆使したシステム開発で高度な課題を解決することを目的としたアドバンストクラスの 3 クラスである。2020, 2021 大会は、コロナ禍により全イベントがオンラインで開催され、大会用のコースを事前に利用できる試走会や、大会の競技会も、実行委員が開発したバーチャルコースを利用して実施された。2022 大会はエントリークラスのみオンラインで開催し、プライマリーとアドバンストの両クラスは、3 年ぶりに実際の走行体とコースを利用する形式で開催された。

各クラスの成績は、ソフトウェアをどのように分析・設計したかを評価するモデル部門と、コース上を走行させてタイムを競う競技部門があり、両者を勘案して総合順位が決定される。モデルと競技の両部門を通して、ソフトウェア開発の全工程を審査する点も、他のコンテストにはない特徴と言える。なお、競技部門は「競技規約」、モデル部門は「審査規約」として、それぞれ明確にルールが決められており、ホームページでも公開されている。

図 2 は、ET ロボコン 2022 プライマリークラスのコースである。コースは約 12 畳分の大きさで、

その中に黒線で描かれた 2 種類のコース (R コースと L コース) が用意されている。競技結果は、スタートからゴールまでの走行に要した時間 (走行タイム) から、設定された課題をクリアすることで獲得できるボーナスタイムを減算した結果 (リザルトタイム) により決定される。クラスによって異なるのは、ボーナスタイムを獲得するための課題の難易度となる。

2018 年までは両コースのリザルトタイムの合計で競技順位を決定していたが、2019 年からはベストタイムで順位を決定する方法にルールが変更された。またベストタイム制の導入に伴い、図 2 のようにコースが左右対称で設計されるようになった。

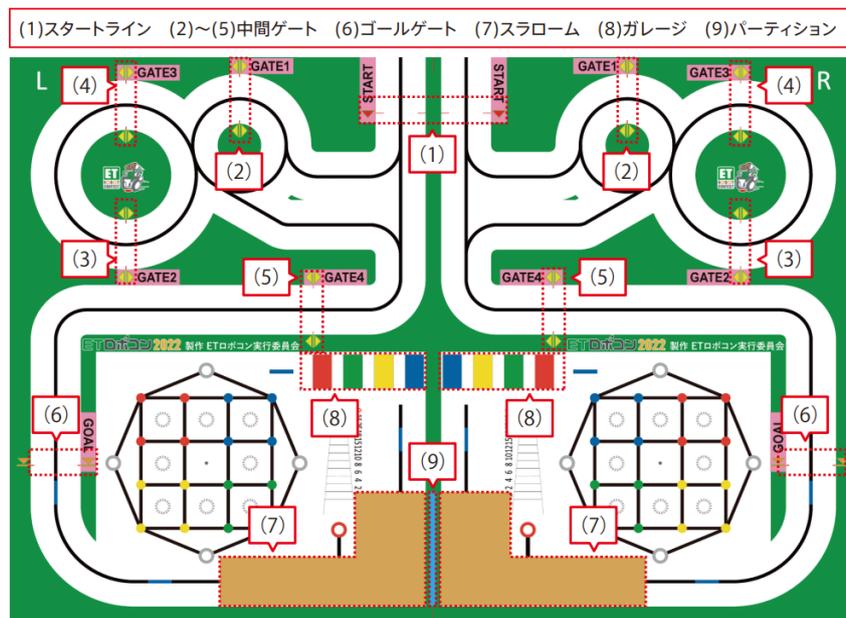


図 2 ET ロボコン 2022 のコース (プライマリークラス)

3. 大会に向けた当研究室の取り組み

当研究室では、学生の技術力と課題解決力の向上を目的に、卒業研究の一環として 2008 年より ET ロボコンに参加している²⁻⁹⁾。ET ロボコンの走行競技では各コースの走行は 1 回のみのため、上位を目指すには制御ソフトウェアの信頼性を高める必要がある。信頼性の向上には走行体 (実機) を用いた走行テストが欠かせないが、手動の走行テストでは大会までの限られた期間で実施できるテスト回数に限界があるため、何らかの工夫が必要となる。そこで当研究室ではテストの効率化と

表 1 当研究室で考案した開発方針

開発方針	考案年度	参考文献
ソフトウェアの再利用	2010	4), 6)
アルゴリズムの共通化	2012	4), 6)
誤差の解消	2016	5), 6)

ソフトウェアの信頼性向上を目的に、表1の開発方針を考案し⁴⁾⁶⁾、その方針に従った開発を実施してきた。また方針の有効性も大会の競技結果として示してきた。

2022大会は3名の学生で、プライマリークラスに参加した。今年のプライマリークラスは2種類の難所(スラロームとガレージ)が設定されたため、競技部門の2名はそれぞれ一つの難所を担当し、走行プログラムを開発した。もう1名の学生はモデル部門を担当し、クラス図等の設計モデルをUMLで作成した。

3.1 設計モデルの作成

モデル担当の学生は、ETロボコンの設計モデルを作成するのは初めてであるため、以下の順序で作成を進めることにした。

- ETロボコンより提供された「技術教育教材」や「ワークショップ資料」の学習
- ETロボコンより提供された「昨年のモデル」の学習と参考となるモデルの抽出
- 設計方針の検討
- モデルの作成とレビュー

ETロボコンでは完成度の高い技術教育の教材が提供されるだけでなく、昨年の優秀モデルやワークショップの資料も参加者に配布される。担当の学生はそれらの学習を通して、どの程度のモデルを作成すべきかを初めに把握した。その次に設計方針を検討した結果、拡張性・再利用性の高いモデルを目指すことにした。

モデル審査の方針・課題・内容等は「審査規約」に明記されているため、規約に従ってモデルの作成を進めた。作成に最も時間を要したのは、図3のクラス図であった。設計方針をどのように反映するか、各クラスの責務は適切であるか等を、レビューを何度も重ねながら、2ヶ月以上かけて完成させた。またETロボコンでは作成したモデルをプレゼンテーションする機会がない(提出したモデルのみで評価される)ため、クラス・属性・操作等の名称を、分かりやすく、またモデル全体で統一するようにも心がけた。

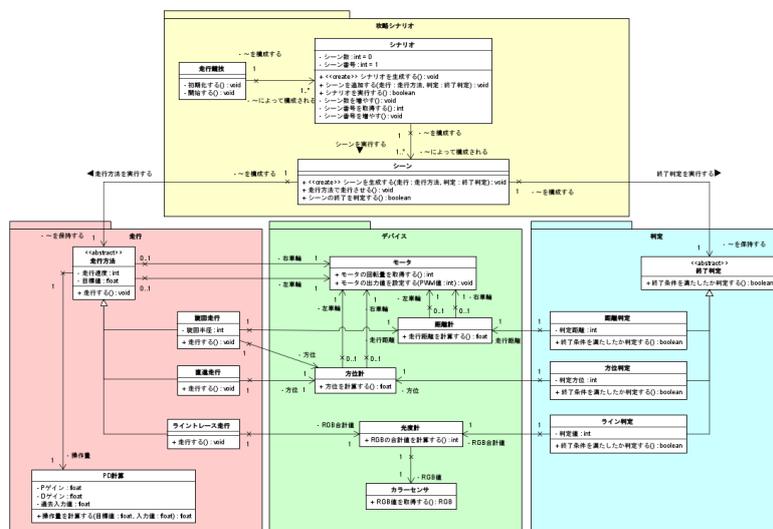


図3 地区大会で提出したクラス図

3.2 走行プログラムの開発

プログラム開発は、担当学生が集合して共同で進める方法もあるが、コロナ禍の影響で集合できなくなる可能性や、就職活動等で担当学生のスケジュール調整が困難になる可能性もあることから、以下の順序で開発を進めることにした。

- ・ 7月まで：シミュレータを用いて、各難所のプログラム作成と走行テスト（単体テスト）を実施
- ・ 8月以降：走行体とコースを用いて、各難所の走行テスト（単体テスト）を実施
- ・ 9月以降：プログラムを結合し、全体の走行テスト（結合・総合テスト）を実施

学生は全ボーナスタイムの獲得を目標に、表1の方針に従って開発を進めた。まず「ソフトウェアの再利用」の方針に基づき、走行方法（ライントレースや直進、回転等）に関する研究室のライブラリに慣れることから始めた。その後、プログラムの作成とシミュレータでの走行テストを繰り返しながら、担当する難所のプログラムをLコースから少しずつ開発した。また定期的な実施したレビューの中で、「アルゴリズムの共通化」や「誤差の解消」についても確認した。

(1) スラロームのプログラム開発

図4は「スラローム」の概要図である。走行体全体が進入ラインからスラローム板上に上った後、走行体の一部がコースに触れることなく、走行体全体が通過ラインからスラローム板を降りることによってボーナスタイムを獲得できる難所である。さらに、スラローム板上で倒れなかった障害物の数に応じて、追加のボーナスタイムも獲得できる。障害物のパターンは、図4に示すように2種類あり、大会当日に公開される。また4色あるガレージカードは、競技のスタート準備後に決定されるため、スラロームの走行中にカードの色を読み取る必要がある。

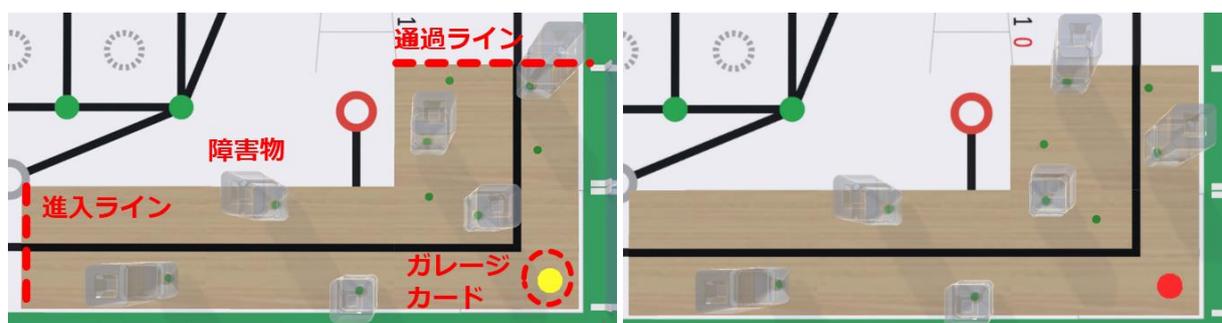


図4 スラローム（左：パターン1、右：パターン2）

スラローム板上の黒線に沿ってライントレースすると障害物に接触するため、担当した学生は直進と回転を用いて障害物を避けながら走行するプログラムを考案した。ただし、ライントレースを用いないと、移動するにつれて位置情報の誤差が大きくなり、安定した走行を実現することができなかった。そこで、超音波センサーで障害物を検出することで進行方向の移動距離の誤差を、黒線を検出・ライントレースすることで走行体の向き（進行方向）の誤差を、それぞれ解消することにした。その結果、成功率が大幅に向上した。また進入ラインから3つめまでの障害物はどちらのパターンも同じ位置に設置されるため、同じアルゴリズムを用いることで共通化も図った。

(2) ガレージのプログラム開発

図5は「ガレージ」の概要図である。ボーナスブロック（以下、ブロック）をブロック搬入領域に置くと共に、走行体全体が駐車領域に収まり3秒間停止することでボーナスタイムを獲得できる難所である。さらに、図4のガレージカードと同色のブロック搬入領域にブロックを置くと、追加のボーナスタイムも獲得できる。

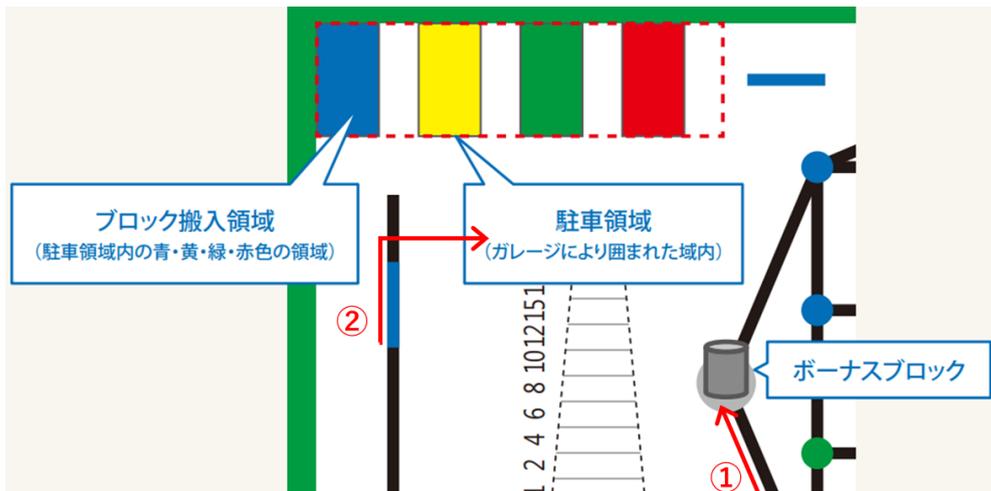


図5 ガレージと誤差解消の工夫 (①と②)

この難所では、①ブロック搬入領域・駐車領域（以下、ガレージ領域）へ移動する時と、②ブロックの方向へ移動する時に、ライトレースが利用できないため、位置情報の誤差が発生する。その誤差を解消するために、次のような工夫を行った。

工夫①は、図5に示すようにブロック手前の黒線をライトレースして走行体の向きを揃えることで、ガレージ領域へ移動する際の進行方向の誤差を解消することにした。ただしブロックを保持すると走行性能が変わるため、それによる誤差は完全に解消できなかった。そこで、ブロックを緑・黄・青に搬入する時は途中で右回転を取り入れて赤のブロック搬入領域を確実に検出する（赤に搬入する時は途中で左回転を取り入れて緑のブロック搬入領域を検出する）ことで、ブロック搬入の成功率を向上させた。また、緑・黄・青の搬入動作は可能な限りアルゴリズムの共通化も図った。これにより青の動作を試すことで緑と黄の動作も確認できるため、時間が限られる大会の試走などで大変に役立った。

工夫②は、図5に示すように青を検出しながら黒・青線をライトレースすることで走行体の向きを線と平行に（進行方向の誤差を解消）した後に、ブロック方向へ回転・直進することにした。さらにブロック右側にある格子状のエリア内でもライトレースを最大限利用することで、①まで確実に移動できるようにした。またエリア内の移動も同じアルゴリズムを繰り返すことで、共通化を図った。なお、当初は②で青の検出後に反転し、ライトレースしてから①の方向へ回転・直進することで、より短い経路（時間）で移動していた。しかしスラロームの障害物が倒れた場合に接触して走行不能となる場合があったため、図5のような経路を選択することにした。

4. 2022 大会の参加結果

4.1 東北地区大会の参加結果

ET ロボコン 2022 東北地区大会は、9 月 23 日に盛岡市で開催された。当日はプライマリークラスに 20 チームが参加し、各チームの開発成果を披露する走行競技が行われた。また競技終了後には設計モデルに関するワークショップが、翌日にはモデル相談も行われた。

当研究室のチーム「ヒット&ラン」は、L コースが走行タイム 27.9 秒（リザルトタイム 23.9 秒）、R コースが走行タイム 28.5 秒（リザルトタイム 24.5 秒）と、どちらもゴールまで完走したものの、スラロームでリタイアとなった。R コースは、位置情報の誤差によりスラロームのプログラムへの切替えに失敗したのが原因であった。L コースは、スラロームの走行中に OS レベルの例外が発生し異常終了したのが原因であった。この異常終了は大会の準備段階から頻発した現象で、研究室のライブラリや各種設定の見直しを繰り返したが解消されなかった。走行競技は 5 位という成績であったが、スラロームとガレージの開発成果を披露できなかったのは残念であった。

これまで当チームの課題であった設計モデルは、1 位に該当する「ゴールドモデル」を初めて受賞した。またシステムの信頼性向上に関する取り組みも評価され「IPA 賞」も受賞した。これらはモデルを担当した学生の努力の成果である。モデル担当の学生は大会翌日のモデル相談にも参加し、審査で指摘を受けた点を中心に審査員より助言等をいただいた。

モデル部門と競技部門を合わせた総合成績では「総合準優勝」という成績を収め、5 年ぶり 5 度目となる全国大会（チャンピオンシップ大会）へ出場することとなった。

4.2 全国大会（チャンピオンシップ大会）の参加結果

ET ロボコン 2022 チャンピオンシップ大会（以下、CS 大会）は、11 月 17 日と 18 日に横浜市で開催された。17 日は各地区より選出された 40 チーム（プライマリークラス 30 チーム、アドバンストクラス 10 チーム）による競技会が、18 日はワークショップがそれぞれ行われた。また 16 日にはテスト走行の機会も設けられた。なお CS 大会はパシフィコ横浜の会議センターで開催されることが多いが、今年は展示ホール内で開催された。これは感染対策のためと思われる。

プライマリークラスの場合、全国大会では走行競技のみが実施される。そこで地区大会の後は、①成功率の向上、②走行タイムの短縮、③障害対策（障害物が転倒した場合やガレージカードの色検出に失敗した場合などの対応）を中心に、プログラムの改善と走行テストを繰り返した。また CS 大会では試走の時間が短いため、想定される不具合とその対応も事前に整理した。なお、地区大会まで悩まされた異常終了については、OS のバージョン変更で解消された。

競技担当の 2 名は、16 日のテスト走行から参加した。ゴールまでの走行では、コースアウトが発生した。これは目視では確認できなかったが、光環境（明るさ）の異なる箇所が存在したのが原因と思われる。そこでゴールまでの走行は、完走することを優先してスピードの調整を行った。また学内には L コースのテスト環境しかないため、R コースの調整はテスト走行で行った。1 時間という限られた時間であったが、予め調整ポイントを絞り込んでいたため、調整はスムーズに完了した。スラロームは、スラローム板を固定するためのピンが CS 大会では利用されており、それに接触す

ることで誤差が発生してスラロームを通過できないという現象が発生した。こちらも、テスト走行の時間内でピンに接触しないように調整を重ね、ガレージまで走行できる状態に近づけた。また、テスト走行終了後は課題と思われる点を検討し、翌日の大会に備えた。

CS大会当日の試走時間は15分と短いため、難所（スラロームとガレージ）の走行から最終調整を行った。またLコースに関しては、第4中間ゲート（図2の(5)）からゴールゲート手前まで斜めに通過する方法（ショートカット）で走行する予定であったが、当日の装飾がシビアな設定だったため、Rコースと同様にライトレースで走行する方法に変更した。

1走目のRコースは、走行タイム26.7秒で完走しただけでなく、スラロームとガレージの全ボーナスタイムも獲得し、リザルトタイム2.7秒という結果で開発目標を見事に達成した。2走目のLコースは第2中間ゲートに向かう途中でコースアウトしたためリタイヤとなったが、1走目の結果が全体で2位となりCS大会の競技部門で「準優勝」という成績を収めることができた。

地区大会では披露できなかったスラロームとガレージの開発成果をCS大会の場で披露できたのは、学生の努力の成果である。また年間を通した全国ランキング¹⁰⁾でも、今年のプライマリークラスで全ボーナスタイムを獲得したのは、当研究室と優勝したチームのみであったので、表1の開発方針の有効性を改めて示すことができたと考えている。

5. おわりに

組込みソフトウェア分野における技術教育をテーマとしたETロボコンと、当研究室の取り組みを紹介した。これまでに培ったソフトウェアの開発方針を踏まえて走行プログラムを開発した結果、全国大会の走行競技では全ボーナスタイムを獲得し、準優勝という成績を収めることができた。また地区大会のモデル部門では、チーム初となるゴールドモデルも獲得することができた。今後も学生の技術力と課題解決力の向上という目的を見失うことなく、ETロボコンへの参加を続ける予定である。

謝辞

ETロボコンへの参加は、当学科・コースの多大なる支援による。またETロボコンで得られた成果は、参加学生（昆野幹人君、進藤胤真君、柳沢元就君）の多大なる努力による。

参考文献

- 1) ETロボコン公式ホームページ：<https://www.etrobo.jp/> <2022年12月1日アクセス>.
- 2) 山口広行：ETロボコン2008参加報告，八戸工業大学紀要，Vol. 28, pp.263-268, 2009.
- 3) 山口広行：ETロボコン2009参加報告，八戸工業大学紀要，Vol. 29, pp.207-212, 2010.
- 4) 山口広行，菊池恭史，工藤正躍，中村歩夢：組込ソフトウェアの品質向上に向けた試み，情報処理学会東北支部研究報告，Vol. 2012-2, No. 7, 2012.
- 5) 山口広行，岩城匠真，小田悠介，木村洸太：組込システムのロバスト性向上の試み，情報処理学会東北支部研究報告，

Vol. 2016-2, No. 1-1, 2016.

- 6) 山口広行：ET ロボコン 2018 参加報告, 八戸工業大学紀要, Vol. 38, pp.101-106, 2019.
- 7) 山口広行：ET ロボコン 2019 参加報告, 八戸工業大学紀要, Vol. 39, pp.170-175, 2020.
- 8) 山口広行：ET ロボコン 2020 参加報告, 八戸工業大学紀要, Vol. 40, pp.207-212, 2021.
- 9) 山口広行：ET ロボコン 2021 参加報告, 八戸工業大学紀要, Vol. 41, pp.120-124, 2022.
- 10) ET ロボコン全国ランキングホームページ： <https://ranking.etrobo.jp/> <2022年12月1日アクセス>.

要 旨

当研究室では、組込みソフトウェア分野における技術教育をテーマとした ET ロボコンに、2008年より卒業研究の一環として参加している。ET ロボコン 2022（プライマリー・アドバンストクラス）は3年ぶりに実際の走行体とコースを利用する形式で開催された。当研究室は東北地区大会のプライマリークラスにおいて、モデル部門1位のゴールドモデルと、総合準優勝の成績を収め、5年ぶり5度目となる全国大会（チャンピオンシップ大会）への出場を果たした。競技部門のみ開催される全国大会では、開発目標である全ボーナスタイムの獲得を達成し、準優勝の成績に輝いた。大会に向けた努力を積み重ねる中で、学生のソフトウェア開発力と課題解決力の向上が図れたと考えている。また当研究室で考案した走行プログラムの開発方針の有効性も、改めて示すことができたと考えている

キーワード：組込み技術, ソフトウェア開発, 工学教育