

平成 28 年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「農業機械のさらなる高度化と海外進出に資する
次世代電子制御ソフトウェア基盤の開発」

研究開発成果等報告書

平成 29 年 5 月

担当局 北海道経済産業局

補助事業者

株式会社 ヴィッツ

苫小牧高等工業専門学校

目次

第1章 研究開発の概要	- 4 -
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	- 4 -
1-2 研究体制	- 7 -
1-3 成果概要	- 9 -
1-4 当該研究開発の連絡窓口	- 9 -
第2章 本論	- 11 -
2-1 概要と実施サブテーマ	- 11 -
2-2 3年間の計画概略工程	- 12 -
2-3 サブテーマ①	- 13 -
2-3-1 H26年度の実施内容	- 13 -
2-3-2 H26年度の研究内容と成果	- 13 -
2-3-1 H27年度の実施内容	- 24 -
2-3-2 H27年度の研究内容と成果	- 24 -
2-3-1 H28年度の実施内容	- 35 -
2-3-2 H28年度の研究内容と成果	- 35 -
2-4 サブテーマ②	- 45 -
2-4-1 H26年度の実施内容	- 45 -
2-4-2 H26年度の研究内容と成果	- 45 -
2-4-1 H27年度の実施内容	- 53 -
2-4-2 H27年度の研究内容と成果	- 54 -
2-4-1 H28年度の実施内容	- 70 -
2-4-2 H28年度の研究内容と成果	- 70 -
2-5 サブテーマ③	- 72 -
2-5-1 H26年度の実施内容	- 72 -
2-5-2 H26年度の研究内容と成果	- 72 -
2-5-1 H27年度の実施内容	- 93 -
2-5-2 H27年度の研究内容と成果	- 93 -
2-5-1 H28年度の実施内容	- 109 -
2-5-2 H28年度の研究内容と成果	- 110 -
第3章 全体総括	- 116 -

3-1	複数年の研究成果	- 116 -
3-2	研究開発後の課題	- 121 -
3-3	事業化展開	- 121 -

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

【研究開発の背景】

わが国の農業は、TPP（環太平洋戦略的経済連携協定）による保護貿易の撤廃、農業従事者の高齢化や後継者難などの影響により、競争力低下が懸念されている。こうした状況において、わが国農産物生産者の競争力を強化するためには、大胆なコストカット、作物の収量増加および高品質化によるさらなる収益改善が必要であり、大きな課題となっている。

その解決策の一つとして期待されているのが、農業機械の電子制御化による作業の高度化である。従来の機械機構による農業機械が人間の作業を置換えるものであったのに対し、それを電子制御へと進化させることで、施肥量の自動制御や薬剤散布密度の均一化など従来機械を超越した精度での作業が可能となり、経費節減や高品質農産物の生産が実現できるからである。例えば、帯広地域の大規模農営では、一度に散布する薬剤は1500万円におよび、人による機械操作では安全をみて10%程度の合わせしろを設けるが、高精度機械では合わせしろ0%での散布が可能となることから、一度で150万円のコスト削減が実現できる。それが年間数回あることから、薬剤コスト削減だけで高精度農業機械を購入する費用が捻出できると言われている。その他、圃場条件や作物種別に合わせた耕うん、施肥、畝立て、播種、苗植付の最適化や、収穫時の自動計測・選別、収量データの蓄積・活用など、農作業サイクル全体にわたっての活用が期待されている。

【動向】

農業機械は典型的には、動力・走行源の「トラクター」と施肥・播種・資材散布などを行う「作業機」が一体となって作業を行う。従来は油圧を介した動力伝達のみであったものが、次世代農業機械ではトラクターと作業機の間でそれぞれに搭載された各種センサーの計測情報をやり取りすることにより、より高度な作業を実現する。こうした次世代農業機械は、ドイツをはじめとする欧米で2000年台前半に市販が始まり、普及が始まりつつある。散布量をトラクターの座席に乗ったままで操作できる施肥機や、散布量を設定すると圧力を自動調整してくれるブームスプレーヤなどは日本国内でも市販されはじめている。今後はさらなる作業高度化が期待されており、例えば「地力や生育に応じて圃場内の場所毎の施肥量を自動制御できる農業機械」、「薬剤を、速度変動によらず所定の密度で自動散布できる農業機械」などが実現されようとしている。

このように次世代農業機械はトラクターと作業機をデータ通信により高度に連携させるものであるが、利便性の観点から異なるメーカーによる機器間の相互接続性の確保が課題となる。これに対しては、通信制御方式の国際標準としてISO 11783（ISOBUSとも呼ばれる）の策定が2000年から現在にかけて行われており、主要部分の策定が完了している。ISOBUSは、トラクターと作業機の完全統合を可能にするインタフェースを規定するものであり、パソコンでいえばプラグアンドプレイに相当する仕組みを実現する。すなわち、トラクターによるISOBUS準拠の作業機の認識、設定・操作、状態の把握などを、煩雑な手順なしに可能とするものである。

一方、農業機械の高度化に伴う別の課題として、安全性対策が挙げられる。作業機の種別によっては、指先や四肢の巻き込みなどを伴う危険源となり得るためであり、製造物責任の観点から農業機械メーカーは十分なリスク低減方策をとることが求められる。これに対しては、農業機械の電子制御システムを対象とする機能安全規格が ISO 25119 として 2010 年に制定済みとなっている。ISO 25119 は、電子制御システムの機能安全を担保するためのベストプラクティスとしてジェネリックな要求事項を規定する IEC 61508（2000 年までに策定）の思想を受け継ぐものである。例えば巻き込みや衝突などの危険事象の発生をセンサーにより検知して緊急停止を行うような安全機能は、ISO 25119 に従って実装し、確実な作動を担保しなければならない。現状においてわが国農業は年間 400 人もの死亡者を出しており、その殆どが農業機械に関連するものとなっている。次世代農業機械ではさらにリスクを伴うおそれがあるため機能安全規格への適合による事故防止は必須の課題である。

【国内農業機械メーカーの課題】

欧米で開発された次世代型の農業機械は国内でも市販も開始されているが、十分に活用されているとはいえない状況にある。その理由として、欧米と日本の営農規模の違いや、安全に関する要求が高いことが挙げられる。欧米の超大型機械はわが国の営農規模や作物には適しておらず、そのまま技術導入することは困難である。日本型農業が得意とする比較的小規模で少量・多品種、高付加価値営農を支援するための、より精密に制御可能な機械が求められているといえる。

こうした状況から国内農業機械メーカーに寄せられる期待は大きいものがある。しかしながら、作業機メーカーの多くは零細もしくは中小企業であり、その製品はメカ制御（ギアと油圧による制御）のみで実現している。そのため機械の高度化を推進するための電子基板開発やソフトウェア開発などが自社で実現することが困難な状況にある。ましてや、通信制御を伴うアプリケーションソフトウェア開発や機能安全対応についてはほとんど経験を有しないため、ISOBUS や ISO 25119 といった国際標準へ適合した製品開発には、極めて高いハードルをクリアしなければならない状況にある。つまり現状のままでは、国際標準レベルの製造物責任が果たせないばかりか、国際市場へ打って出る道すら閉ざされているといえる。

国内農業機械メーカーがこうした状況を打開するための技術支援として、電子基板については、ISOBUS 対応 ECU ボード AgriBusBoard32 が国内ベンチャーより開発されて利用可能な状況にある。しかしながら、ソフトウェア開発技術についての取組みは国内では未着手である。

すなわち、わが国の農業機械メーカーが電子制御による高精度な機能を実現できる次世代農業機械メーカーへと発展するためには、以下の課題を解決すべきである：

課題 1：【低コスト化】高度な技術習得をすることなく農業機械の電子制御化を達成できる簡便なソフトウェア開発手段が必要である。

課題 2：【標準準拠】国際整合性の観点から通信技術や機能安全の国際標準（ISOBUS、ISO 25119）に準拠する必要がある。

【研究目的および目標】

前述の課題1および2を克服することを目的とし、本事業では以下を開発することを目標とする。

目標1：ISOBUS に対応したソフトウェアプラットフォーム

ISOBUS の利用が可能なソフトウェアプラットフォームの実現として以下の機能目標を設定する。

- 1) 制御向けリアルタイム OS の導入
- 2) ISOBUS ミドルウェアの開発
- 3) 上記プラットフォームの ISO25119 対応

目標2：ISO 25119 対応のアプリケーション開発フレームワーク

ISO 25119 に対応したソフトウェアプラットフォーム上で稼動する ISO25119 対応ソフトウェアを開発可能なフレームワークを開発する。

- 1) フレームワークの開発
- 2) フレームワーク部位の ISO 25119 対応

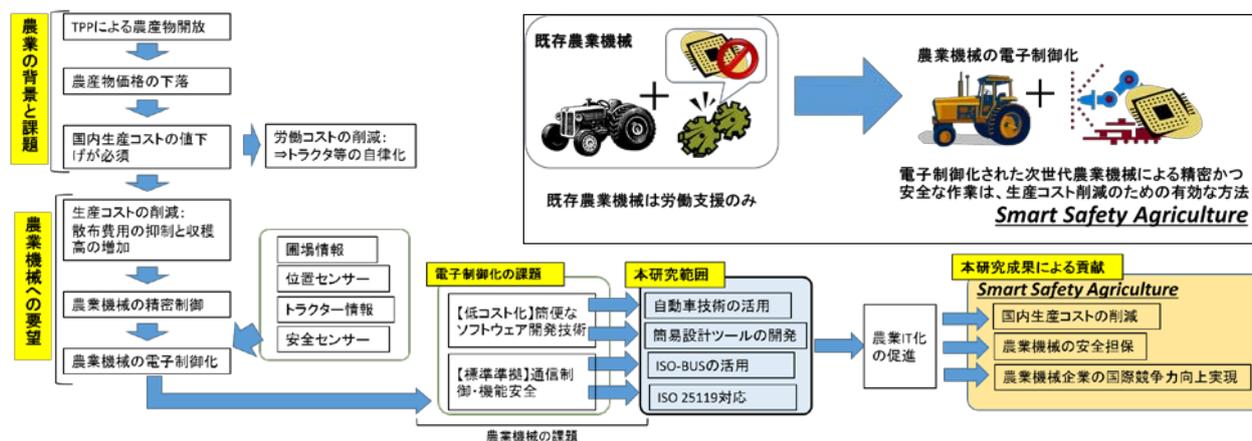


図 1-1 研究開発の概要

【研究開発の取組の評価】

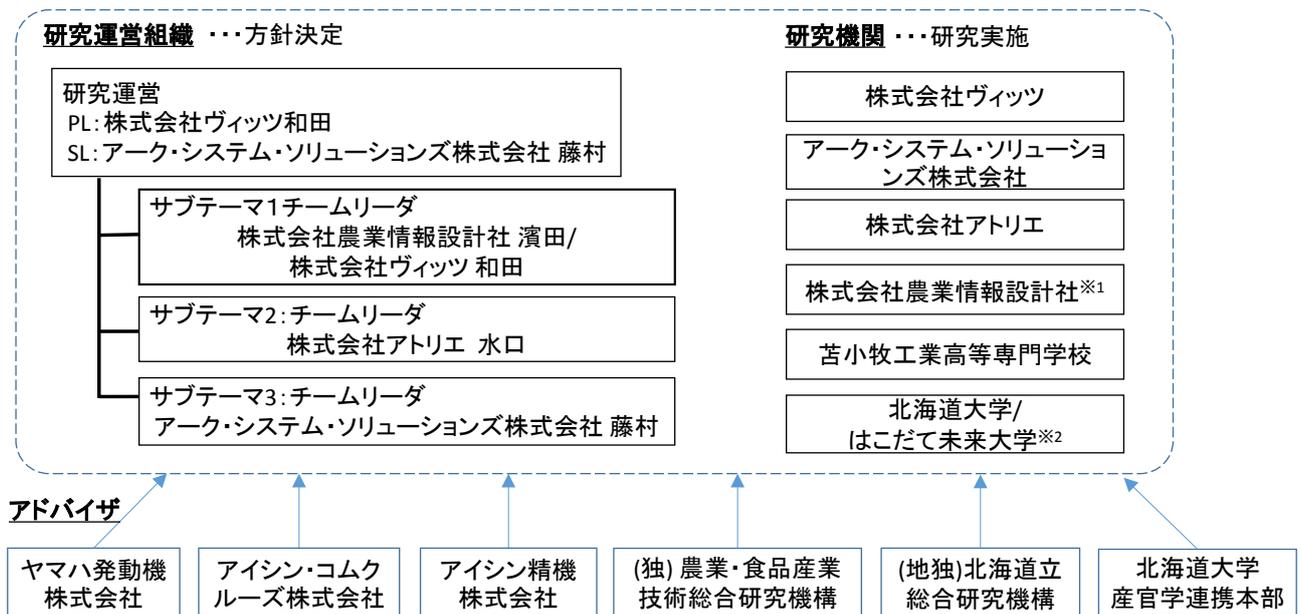
対策1は、ISOBUS を利用した農業機械制御用のアプリケーションソフトウェアを実行するための基盤となるソフトウェアを開発するものであり、通信ライブラリとリアルタイム OS から構成する。対策2は、対策1のソフトウェアプラットフォーム上で動作するアプリケーションソフトウェアを開発する際に、タスクや各種パラメータのコンフィグレーションを簡便に行うためのしきみを提供するものである。これらはいずれも農業機械用機能安全規格 ISO 25119 に準拠して開発する。以上により、国内農業機械メーカーが抱える課題を解決して、日本型の次世代農業機械の開発を可能とする。そして、国内農産物生産者の課題である低コスト化・収量増加を実現し、自由貿易時代を勝ち抜くための日本農業の完全復活に貢献するものである。さらに日本農業の課題

はアジア地域にも共通であると考えられることから、本開発の成果は、国内農業機械メーカーのアジア市場進出を促進することができる。

現在のところ、ISOBUS を制御するソフトウェアライブラリは ISOAgLib など複数が存在している。しかしながら、いずれも海外製であり、使用方法が難しい。また、ISOBUS を活用し、ある程度の制御ソフトウェアを開発できるフレームワークは国内で1例と海外で数例あるが、いずれも日本語未対応など利用上の制限があるとともに、ISO 25119にはどれも対応されていないため、本研究は他に例がない先端的な内容といえる。

1-2 研究体制

(1) 研究組織（全体）

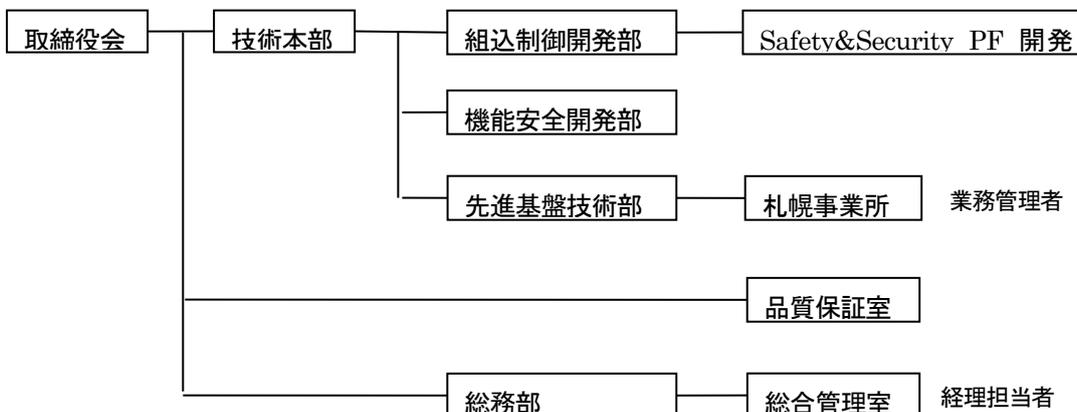


※1 … 農業情報設計社は H26 年度のみ ※2 … 担当の鈴木恵二教授の異動に伴い、北海道大学は H27 年度まで、はこだて未来大学は H27 年度から

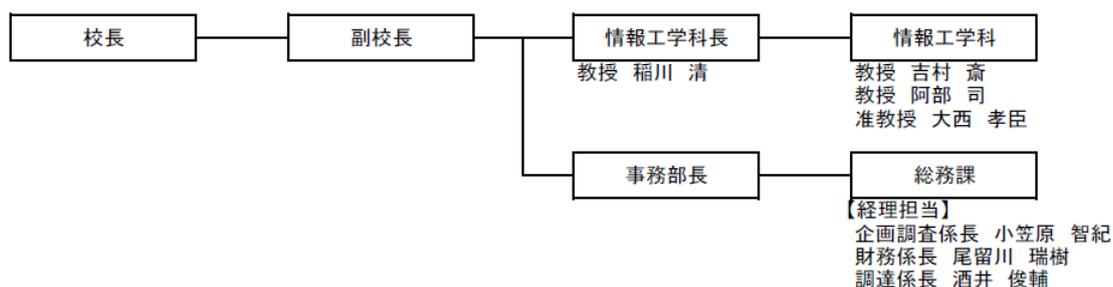
(2) 管理体制

① 事業管理者

[株式会社ヴィッツ]



[苫小牧工業高等専門学校]



(3) 研究員

① 株式会社ヴィッツ

服部博行、和田学、片岡歩、杉山歩、小久保純一、出口雅也、森川聡久、杉浦正直、澤田拓哉、櫻庭孝弘、大山智弘

② アーク・システム・ソリューションズ株式会社

坂本謙治、藤村博秀、池田和博、徳永吉昭、堀米俊弘

③ 株式会社農業情報設計社

濱田安之

④ 株式会社アトリエ

水口大知、石山康介

⑤ 苫小牧工業高等専門学校

阿部司、大西孝臣、吉村斎、稲川清、

⑥ 北海道大学 / はこだて未来大学

鈴木恵二、川村秀憲

(4) アドバイザ

① アイシン精機株式会社

河合浩明

② アイシン・コムクルーズ株式会社

鈴木延保、鬼頭正広

③ (地独)北海道立総合研究機構

堀武司

④ 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

澁谷幸憲、元林浩太

⑤ ヤマハ発動機株式会社

神谷剛志

⑥ 北海道大学 産学・地域連携機構

牧内勝哉

1-3 成果概要

下記のとおり、当初目標としたプラットフォーム・フレームワークの開発を全て達成した。

(1) 目標1：ISOBUSに対応したソフトウェアプラットフォームの開発

1) 制御向けリアルタイムOSの導入

農研機構が開発した農業機械用制御ユニット向けに、制御に適したAUTOSAR仕様のリアルタイムOS TOPPERS ATK2をポーティングし利用可能とした。またISOBUSミドルウェアはこのリアルタイムOS上で実行可能になるようインターフェースの整合をとった。

2) ISOBUSミドルウェアの開発

AUTOSAR仕様の商用車共通通信層の上にISOBUSガイドラインに準拠したサービス層を独自開発し、ISOBUSミドルウェアを開発した。

3) 上記プラットフォームのISO 25119対応

ISO 25119に対応するために、機能安全対応が可能な動的メモリ管理を用いないC言語にて開発を行った。また機能安全に必要な故障検出ライブラリを開発した。

(2) 目標2：ISO 25119対応のアプリケーション開発フレームワークの開発

1) フレームワークの開発

ISOBUSミドルウェアを用いた個々の作業機制御アプリケーションの開発を効率化するための操作画面編集ツール・通信設定ツールを開発した。また作業機の履歴自動記録や作業自動実行のために必要な作業計画アプリケーションで用いるISOXMLデータの入出力ライブラリを開発し、作業計画アプリケーションの試作を実施した。

2) フレームワーク部位のISO 25119対応

セミフォーマル記法を利用した機能安全対応を効率化するためのフレームワークを開発した。またソフトウェア・システム設計の高信頼化のための技術、フォーマルメソッドを上記ソフトウェアフレームワークに応用する方法を確立した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

(1) 作業機向けISOBUS通信ライブラリ及び開発ツールに関する問い合わせ

株式会社ウィッツ 応用技術部 和田 学

TEL: 011-280-9055 FAX: 011-280-9056

E-mail: wada@witz-inc. co. jp

(2) 自動実行タスク計画データ入出力ライブラリ及び関連ツールに関する問い合わせ

アーク・システム・ソリューションズ株式会社 藤村 博秀

TEL: 011-207-6460 FAX: 020-4622-5064

E-mail: fujimura_hirohide@arcsys-sol. co. jp

(3) 機能安全対応に関する問い合わせ

株式会社アトリエ 取締役 水口 大知

TEL: 052-202-6707 FAX: 052-218-5855

E-mail: daichi.mizuguchi@atelier-inc.com

(4) その他基盤技術に関する問い合わせ

苫小牧工業高等専門学校 稲川 清

TEL: 0144-67-8931 FAX: 0144-67-8023

E-mail: inagawa@jo.tomakomai-ct.ac.jp

第2章 本論

2-1 概要と実施サブテーマ

【具体的な取組内容】

本事業では、電子制御化した農業機械で活用する基盤ソフトウェアとその上で稼動するアプリケーションのスケルトン（骨格）ソフトウェアを自動生成する環境を構築する。

制御システムを構築する場合、専門的な知識を有しない技術者はリアルタイムOSの設定やタスク分割、割り込み処理などの設定などが技術的な課題となり、正しく設定するには多大な時間と技術習得が必要となる。この技術的な課題が組込みソフトウェア開発の困難な点である。しかしながら従来、農業機械メーカーは機械機構と油圧による制御技術は持ち合わせているものの、コンピュータ制御の経験がないためこれらの技術を持ち合わせていることは考えにくい。この課題を解決するために、本研究ではフレームワークと称したスケルトンプログラム（アプリケーションプログラムの骨格）を自動生成する機構を開発する。これにより、農業機械メーカー技術者への電子制御技術の導入を容易にし、かつ、躍進させることが可能となる。



図 2-1 開発ソフトウェアプラットフォームとフレームワーク

【サブテーマ】

上記より、本事業では大きく「(1) ISOBUS 対応のソフトウェアプラットフォーム開発」と、「(2) ISO 25119 対応アプリケーションフレームワーク開発」の2つの開発を含むが、農業機械を機能安全に対応させるためには、(1)と(2)は両方共 ISO 25119 対応する必要がある、重複する調査や分析・設計作業が生じる。このことから本事業では、上記2つの研究開発項目に重複して必要になる「ISO 25119 機能安全対応」を受け持つチームを設けることにより、効率良く研究開発を進めることを目指す。

よって本事業では、下記の3つのサブテーマで研究開発に取り組むこととする。

- ・サブテーマ①：農業機械用ソフトウェアプラットフォームの開発

- ・サブテーマ②：ISO 25119 機能安全対応
- ・サブテーマ③：ISO 25119 対応のアプリケーション開発フレームワークを開発する

2-2 3年間の計画概略工程

概略スケジュールは、初年度は10月~2月の4か月間と期間が短い為、開発の為の調査と一部仕様を確定できる部位の開発を行い、2年度目に本格的な開発を進めてプロトタイプとして大よそ動作させ、3年度目に事業化に向けた改良を行うことを計画した。

1) 初年度

開発仕様の決定の為の調査と一部仕様を確定できる部位の開発

(調査は規格・既存技術・市場の調査を含む)

2) 2年度目

ISOBUS 対応作業機用プラットフォームの開発

作業機アプリケーションのプロトタイプ開発

作業機の機能安全対応

試作機開発着手

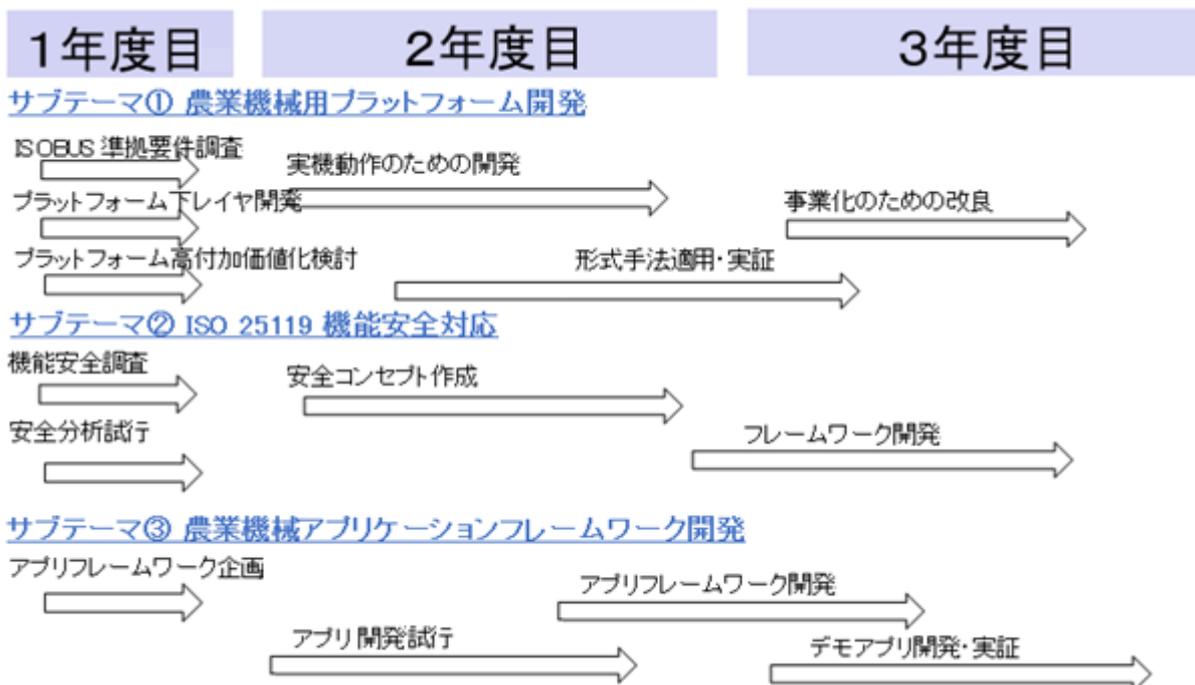
3) 3年度目

プラットフォーム付加価値向上

アプリケーションフレームワーク化

機能安全対応コンテンツのパッケージ化

試作機完成



2-3 サブテーマ①

2-3-1 H26 年度の実施内容

H.26 年度は、ソフトウェアプラットフォーム・通信ミドルウェアの中核となるリアルタイム OS や CAN ドライバを今回実証用のハードウェアとして使用する ECU ボード上で実行できるようにすること、また次年度からの開発仕様に反映すべく、最終目標とするプラットフォームに必要な要件や要素技術の調査を行うことを目標とする。

【タスクと主担当機関】

- 1) リアルタイム OS のポーティング : 株式会社ヴィッツ
- 2) CAN ドライバの開発 : 株式会社ヴィッツ
- 3) ISOBUS 準拠要件の調査 : 株式会社農業情報設計社
- 4) ソフトウェア基盤高付加価値化検討 : 苫小牧工業高等専門学校

2-3-2 H26 年度の研究内容と成果

(1) リアルタイム OS のポーティング

【研究実施内容】

- 1) 開発環境の整備
- 2) OSEK 仕様 RTOS の CPU・INTC・マイコン・周辺回路のポーティング
- 3) 上記 RTOS の動作確認

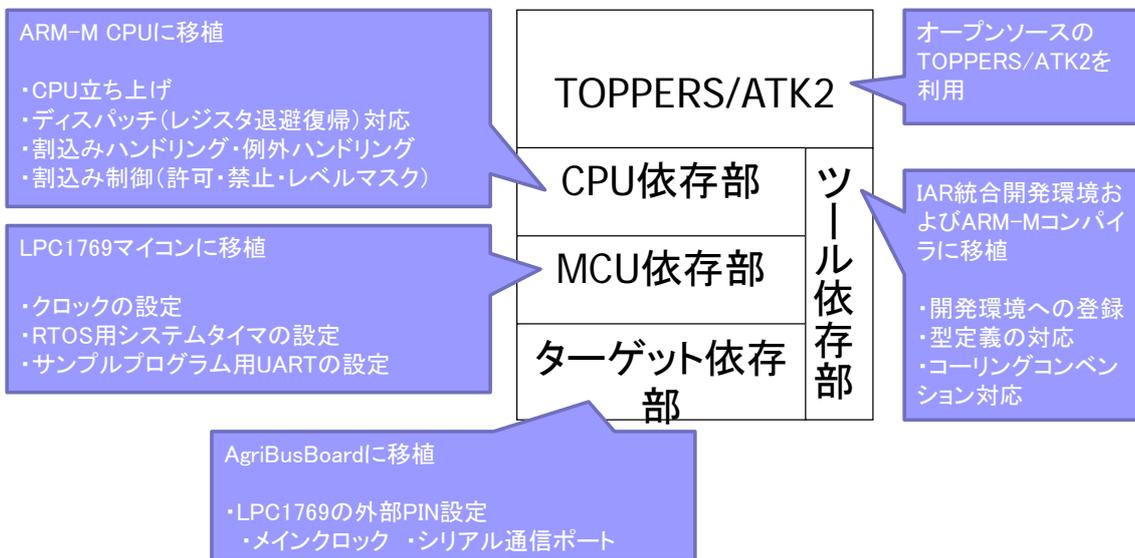


図 2-2 RTOS の構造と移植作業内容

【研究成果】

ポーティング作業を完了し、RTOS が AgriBusBoard32 上でサンプルを用いて API 実行することにより、動作確認を行い良好な結果を得た。

(2) CAN ドライバの開発

【研究実施内容】

アドバイザーからのヒアリングにより、市場性を考えると AUTOSAR 仕様に準拠することが事業化に結びつきやすいとの助言を得、また、農業機械の市場は比較的小さくトラックなどの商用車への横展開をにらみ SAE J1939 に対応させることで汎用化できるとの助言を得た。

上記から AUTOSAR 仕様準拠の SAE J1939 コンポーネントを含む CAN ドライバスタックを開発することとした。

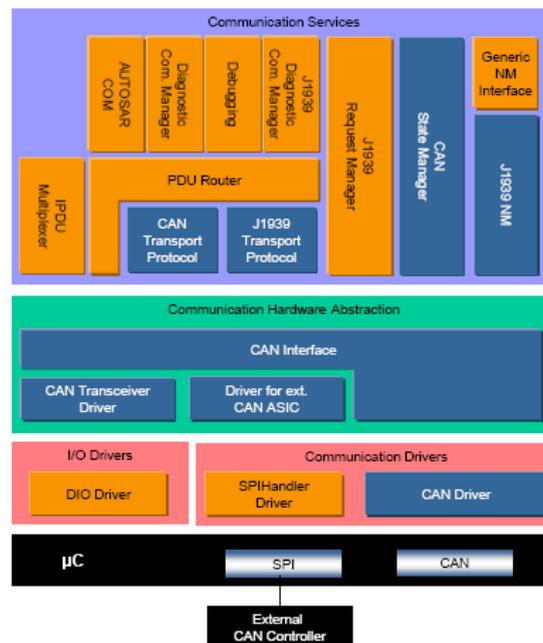


図 2-3 AUTOSAR 仕様 CAN 通信コンポーネント構成

【研究成果】

AUTOSAR Ver4.1 コンポーネント仕様に準拠して CAN ドライバスタックを設計・開発し、テストを行い、AgriBusBoard32 上で開発 CAN ドライバが動作することを確認した。

```

9  #ifndef CAN_CFG_H_↓
10 #define CAN_CFG_H_↓
11 ↓
12 ↓
13 // #define CFG_ISR_MODE↓
14 /* Can Transmit ISR mode*/↓
15 #ifndef CFG_ISR_MODE↓
16 /* CanGeneral */↓
17 #define CAN_CHANGE_BAUDRATE_API-> > > > STD_ON-> /**< ECUC_Can_00436 */↓
18 #define CAN_DEV_ERROR_DETECT-> > > > STD_ON-> /**< ECUC_Can_00064 */↓
19 #define CAN_HW_TRANSMIT_CANCELLATION-> > > > STD_ON-> /**< ECUC_Can_00069 */↓
20 #define CAN_IDENTICAL_ID_CANCELLATION-> > > > STD_ON-> /**< ECUC_Can_00378 */↓
21 #define CAN_MAINFUNCTION_BUSOFF_PERIOD-> > > > 0,1-> /**< ECUC_Can_00355 */↓
22 #define CAN_MAINFUNCTION_MODE_PERIOD-> > > > 0,1-> /**< ECUC_Can_00376 */↓
23 #define CAN_MAINFUNCTION_WAKEUP_PERIOD-> > > > 0,1-> /**< ECUC_Can_00357 */↓
24 #define CAN_PUBLIC_ICOM_SUPPORT-> > > > STD_OFF-> /**< ECUC_Can_00483 */↓
25 #define CAN_SET_BAUDRATE_API-> > > > STD_ON-> /**< ECUC_Can_00482 */↓
26 #define CAN_VERSION_INFO_API-> > > > STD_ON-> /**< ECUC_Can_00106 */↓
27 #define CAN_MAINFUNCTION_READ_PERIOD-> > > > 0,1-> /**< ECUC_Can_00356 */↓
28 #define CAN_MAINFUNCTION_WRITE_PERIOD-> > > > 0,1-> /**< ECUC_Can_00358 */↓
29 ↓
30 /* CanController */↓
31 #define CANCONTROLLER_COUNT-> > > > > 2-> > > /**< ECUC_Can_00354 */↓
32 ↓
33 /* CanController #0 */↓
34 #define CANCONTROLLER0_CAN_BUSOFF_PROCESSING-> > > > INTERRUPT-> /**< ECUC_Can_000314 */↓
35 #define CANCONTROLLER0_CAN_CONTROLLER_ACTIVATION-> > > > FALSE-> /**< ECUC_Can_000315 */↓
36 #define CANCONTROLLER0_CAN_CONTROLLER_BASEADDRESS-> > > > 0x40044000-> /**< ECUC_Can_000382 */↓
37 #define CANCONTROLLER0_CAN_CONTROLLER_ID-> > > > 0-> > > /**< ECUC_Can_000316 */↓
38 #define CANCONTROLLER0_CAN_RX_PROCESSING-> > > > INTERRUPT-> /**< ECUC_Can_000317 */↓
39 #define CANCONTROLLER0_CAN_TX_PROCESSING-> > > > INTERRUPT-> /**< ECUC_Can_000318 */↓
40 #define CANCONTROLLER0_CAN_WAKEUP_PROCESSING-> > > > INTERRUPT-> /**< ECUC_Can_000319 */↓
41 #define CANCONTROLLER0_CAN_WAKEUP_SUPPORT-> > > > STD_ON-> /**< ECUC_Can_000330 */↓
42 #define CANCONTROLLER0_CAN_WAKEUP_SOURCEREF-> > > > 0↓

```

図 2-4 開発ソースコードの例

Steps	Input	Expected behaviour	Actual behaviour
Step1: Initialize Can Driver via Can_Init API	Configuration1	- Register CANIBTR must be has value 0x005CC009 - Register CANZBTR must be has value 0x005CC009	- Register CANIBTR had value 0x005CC009 - Register CANZBTR had value 0x005CC009
Step2: Set baudrate for CANCTRL0 and CANCTRL1 via Can_SetBaudrate API	-BaudrateConfigId for CANCTRL0: 0 -BaudrateConfigId for CANCTRL1: 1	- Register CANIMOD must be has value 0x00000000 - Register CANZMOD must be has value 0x00000000 - Need to get CanIf_ControllerModeIndication from CANCTRL1 and CANCTRL2: CANIF_CS_STARTED - Register CANIER must be has value 0x00000693 - Register CANZIER must be has value 0x00000693	- Register CANIMOD had value 0x00000000 - Register CANZMOD had value 0x00000000 - Got CanIf_ControllerModeIndication from CANCTRL1 and CANCTRL2: CANIF_CS_STARTED - Register CANIER had 0x00000693 - Register CANZIER had 0x00000693
Step3: Set Controller mode for for CANCTRL0 and CANCTRL1 via Can_SetControllerMode API		- Need to get CanIf_TxConfirmation of 6 CanMsg has PduId: 0x00, 0x01, 0x02, 0x03, 0x04, 0x05 CANCTRL0: - Need to get CanIf_RxIndication of 2 CanMsg has CanId 0x10, 0x120 CANCTRL1: - Need to get CanIf_RxIndication of 2 CanMsg has CanId 0xFF, 0x200	- Got CanIf_TxConfirmation of 6 CanMsg has PduId: 0x00, 0x01, 0x02, 0x03, 0x04, 0x05 CANCTRL0: - Got CanIf_RxIndication of 2 CanMsg has CanId 0x10, 0x120 CANCTRL1: - Got CanIf_RxIndication of 2 CanMsg has CanId 0xFF, 0x200
Step4: Loop send Can Message.	-Loop cycle: 20 times -PduId: [0,1,2,3,4,5] -PduLength: 0 -PduData: Random -CanId: [0x100, 0x110, 0x120, 0xFF, 0x200, 0x201]		
Step1: Initialize Can Driver via Can_Init API	Configuration2	- Register CANIBTR must be has value 0x005CC009 - Register CANZBTR must be has value 0x005CC009 - Register CANIER must be has value 0x00000000 - Register CANZIER must be has value 0x00000000	- Register CANIBTR had value 0x005CC009 - Register CANZBTR had value 0x005CC009 - Register CANIER had value 0x00000000 - Register CANZIER had 0x00000000
Step2: Set baudrate for CANCTRL0 and CANCTRL1 via Can_SetBaudrate API	-BaudrateConfigId for CANCTRL0: 0 -BaudrateConfigId for CANCTRL1: 1		

SWS Item	Configuration Item	Configuration1																				
X TT ECUC_Can_00133	CanTTControllerFURRestore																					
X TT ECUC_Can_00129	CanTTControllerTimeMaster																					
X TT ECUC_Can_00130	CanTTControllerTimeMasterPriority																					
X TT ECUC_Can_00137	CanTTControllerTxEnableWindowLength																					
X TT ECUC_Can_00158	CanTTControllerWatchTriggerGapTimeMark																					
X TT ECUC_Can_00157	CanTTControllerWatchTriggerTimeMark																					
X TT ECUC_Can_00142	CanTIROProcessing																					
EDUC_Can_00324	CanHardwareObject	Hoh0	Hoh1	Hoh2	Hoh3	Hoh4	Hoh5	Hoh6	Hoh7	Hoh0	Hoh1	Hoh2										
EDUC_Can_00323	CanHandleType	FULL	FULL	FULL	FULL	FULL	FULL	FULL	FULL	FULL	FULL	FULL										
EDUC_Can_00467	CanHwObjectCount																					
EDUC_Can_00065	CanIdType	EXTENDED	EXTENDED	EXTENDED	EXTENDED	EXTENDED	EXTENDED	EXTENDED	EXTENDED	EXTENDED	EXTENDED	EXTENDED										
EDUC_Can_00325	CanIdValue	0x100	0x1FF	0x200	0x201	0x200	0x100	0x110	0x120	0x100	0x1FF	0x200										
EDUC_Can_00326	CanObjectId	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2										
EDUC_Can_00327	CanObjectType	RECEIVE	TRANSMIT	TRANSMIT	TRANSMIT	RECEIVE	TRANSMIT	TRANSMIT	TRANSMIT	RECEIVE	TRANSMIT	TRANSMIT										
EDUC_Can_00322	CanControllerRef	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0										
EDUC_Can_00321	CanFilterMaskRef																					
EDUC_Can_00438	CanMainFunctionRwPeriodRef	upper: 0x120 lower: 0x110								upper: 0x200 lower: 0x1FF											upper: 0x105 lower: 0x100	
																						upper: 0x125 lower:

図 2-5 テスト仕様の例

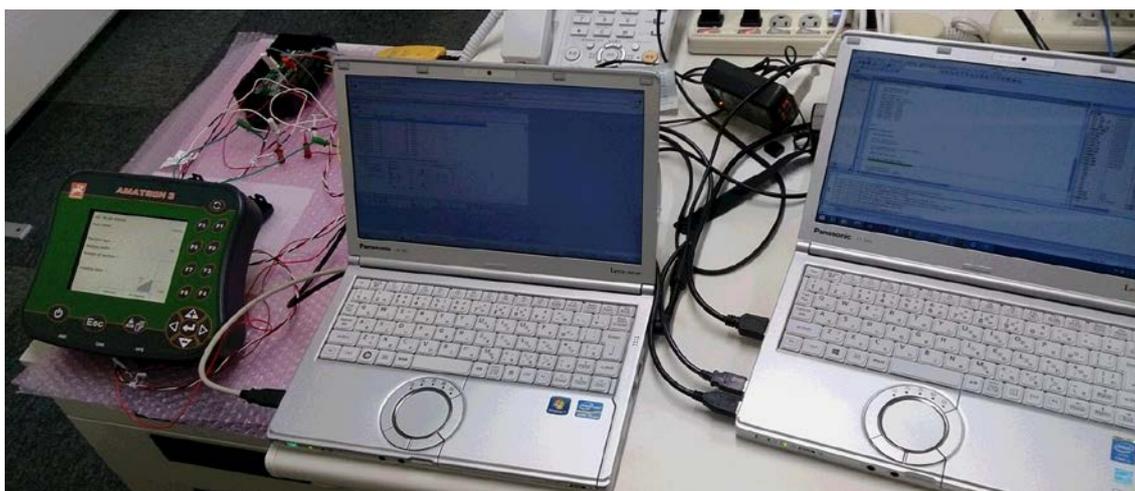


図 2-6 実機動作確認の様子

(3) ISOBUS 対応要件の調査

【研究実施内容】

今年度は ISOBUS に準拠するために必要な認証試験の調査を行うとともに、事前に机上で認証試験と同様の試験を可能とするコンFORMANCEテストについて、試験環境の構築を行った。また、試験環境が正しく構築されているかを確認するためのテスト用 ECU の開発を行い、コンFORMANCEテストを試行した。その他、コンFORMANCEテストの効率を向上するための機器（ISOBUS 適合試験機器用接続ユニット）を導入することとし、その動作確認を行った。

【研究成果】

1) ISOBUS に準拠するために必要な認証試験の調査

ISOBUS は農業機械の通信制御を共通化する国際標準 ISO 11783 を基に業界団体（AEF : Agricultural Industry Electronics Foundation、**農業電子工業会**）が定めた物である。ISO 11783 は農業機械の内部、あるいはトラクタと作業機等の農業機械の間で、走行速度や PTO 回転数等の情報を送受信する際の通信プロトコル（通信手順の規定）であり、トラクタ等の農用車両や作業機に搭載された電子制御ユニット（ECU）、あるいは作業者が使用する情報表示・操作装置、GPS 等のセンサー等の ISOBUS 対応機器が、それぞれインプレメントバス（作業機バス）と呼ばれる 1 組の配線に接続されてネットワークを構成し、これらの機器が相互に情報通信・連携することで必要な機能を提供する。ISOBUS に対応した農業機械の構成例を図 2-7 に示す。

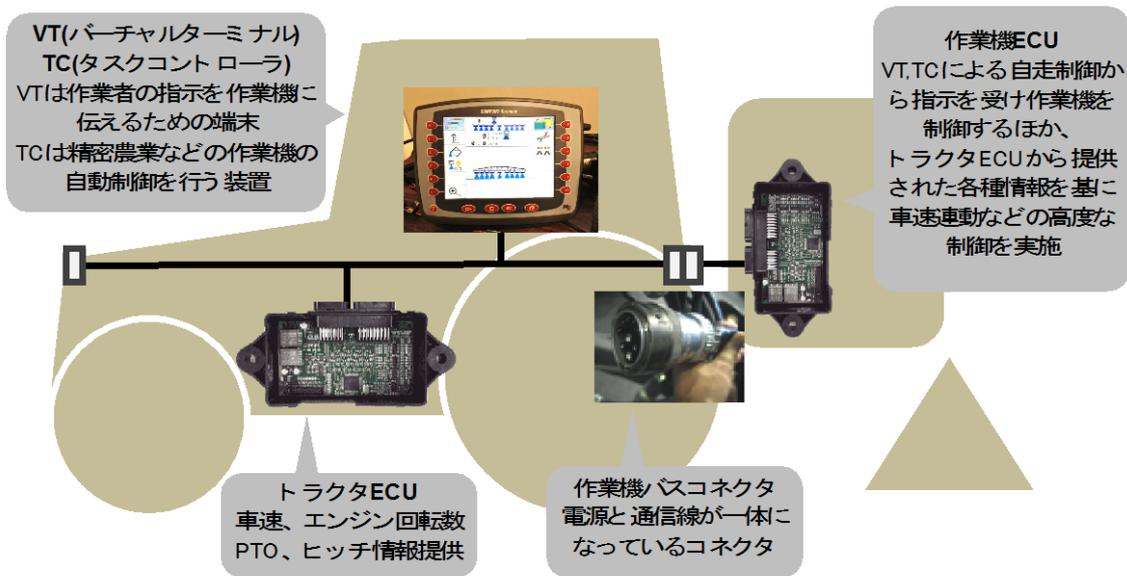


図 2-7 ISO 11783 における基本的な機器構成の例

国際標準 ISO11783 を基に、実装や適合試験（対象の機器が規定に合致するかどうかを確認する試験）に関する項目を AEF が規定したものが ISOBUS であり、上記適合試験に合格した電子制御ユニット等にはステッカーが貼られており、ISOBUS に準拠しているかがわかるようになっている（図 2-8）。



図 2-8 ISOBUS 認証ステッカー

ISOBUS の認証試験であるコンフォーマンステストは現在ドイツで 2 カ所、イタリア・フランスで各 1 カ所、アメリカに 1 カ所の計 5 カ所のテストラボラトリーと呼ばれる検査機関で受験可能でありアジアには

ない。このため ISOBUS 対応として認証を受ける場合は、現状これらのテストラボラトリーに赴いてコンフォーマンステストに合格する必要がある。

コンフォーマンステストは National Instruments 社の提供するテスト実行環境ソフトウェア「NI TEST STAND」上で動作するスクリプトであり、PC と受験するシステムの ECU を接続して通信が ISOBUS の基準に合致しているかどうかを計る物である。

AEF の会員企業はそのホームページ上よりこのスクリプトのダウンロードが可能となっており、NI TEST STAND と PC・ECU 間の接続インターフェースを導入することで、自社内で事前に試験を行うことが可能である（ただし、最終製品(OEM)を製造するメーカは年間100万円程度の費用を別途 AEF に納付する必要がある）。

PC と ECU 間の接続手法は複数選択が可能であり、ベクター社等が提供する USB-CAN インターフェースや後述する ISOBUS 適合試験機器用接続ユニットなどが選択可能である。

2) コンフォーマンステスト環境構築

次項で説明するコンフォーマンステスト試行用 ECU を接続してコンフォーマンステストを試行するための環境を以下の手順に従い構築した。

◎ NI TEST STAND のインストール

◎ PC・ECU 間の接続インターフェース用デバイスドライバのインストール

本課題ではベクター社の CAN-USB インターフェース VN1610 を適用した。

◎ コンフォーマンステストスクリプトのインストール

スクリプトは AEF のダウンロードページからダウンロードすることが出来る(図 2-9)。

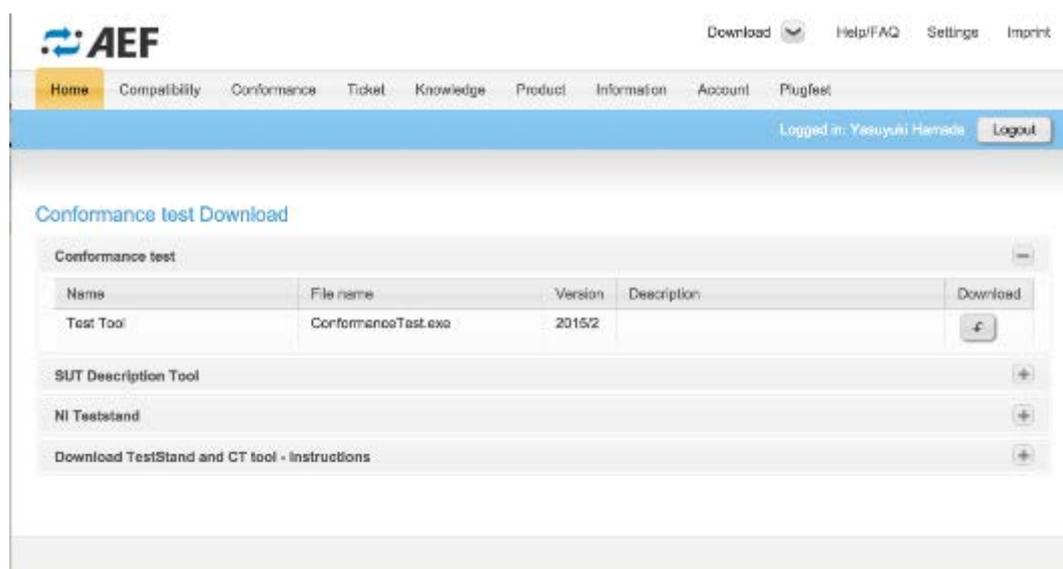


図 2-9 ダウンロード画面

3) コンフォーマンステスト試行用 ECU の試作

パフォーマンステストが正しく行えるかどうかを確認するために、ISOBUS で通信を行う ECU を試作し、パフォーマンステストを試行した。試作した ECU は、ハードウェアに(株)ヤハタ製の AgriBusBoard32 を適用し、内蔵する ECU ソフトウェアは(独)農研機構が開発し、(株)農業情報設計社が利用実施許諾を得た AgriBusStdLib (アグリバス・スタンダード・リブ) を基に開発した。

AgriBusBoard32 は ARM Cortex-M3 ベースの MCU で 120MHz 動作、FLASH512KB、RAM64KB と比較的高機能な NXP LPC1769 を搭載する。本ハードウェアはデジタル入出力、アナログ入出力、QEI (ロータリーエンコーダ) 入力のピンを持ち、インターフェースは RS232、CAN、USB の各機能を有する。このうち USB インターフェースについてはホスト機能を有し、USB メモリへの読み書きや Android OS のスマートホン・タブレットとの接続通信・給電が可能となっている。

AgriBusStdLib は ISO 11783 に準拠した通信を行うための「プロトコルスタック」であり、「アドレス・クレーム」と呼ばれるネットワーク上で ECU 同士が相互にアドレスを設定する機能や VT/TC との接続機能、診断機能を有する。

ECU ソフトウェアは AgriBusStdLib にハードウェアの初期化機能、ECU の保持する製造者名やシリアル番号等の情報を設定する機能を有し、ISOBUS の最低要件を満たす物として開発した。開発環境は NXP 社の提供する NXP LPCExpresso で、コンパイラは gcc を適用している。

4) パフォーマンステストの試行

2) で構築した試験環境及び 3) で開発した試行用 ECU を用いてパフォーマンステストを試行した。パフォーマンステストは以下の手順に沿って行った。

◎ SUT (System Under Test) 情報の作成

テストを行う前に試験を行う ECU の詳細情報と実施する試験の情報を作成する。入力された ECU の詳細情報は、試験時に ECU 本体と通信して得た情報と照合するために用いられ、試験結果の一部としてレポートに記載される。

◎ PC と ECU の接続 (図 2-10)

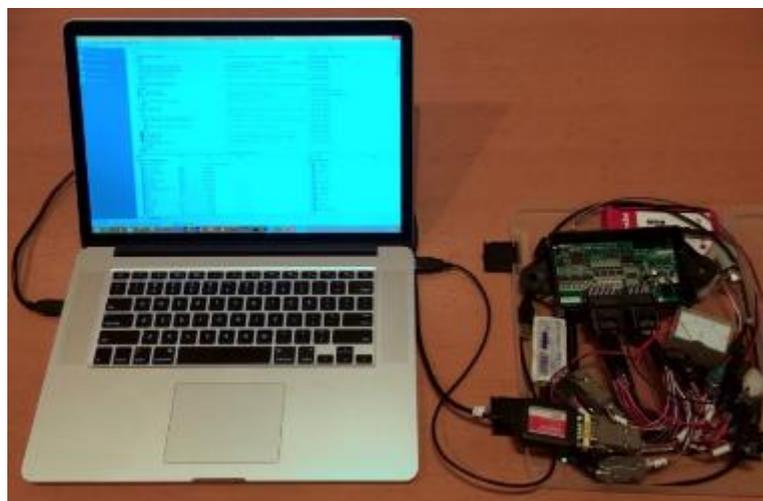


図 2-10 PC と ECU の接続例

◎試験開始

コンフォーマンステストツール上の「Single Pass」ボタンを押下することで試験が開始される。試験中は複数回 ECU の電源の入切が求められ、試験が終了すると試験結果がテストレポートとしてブラウザ上に (html 形式で) 表示・保存される。すべての項目に合格すると先頭の表の色が緑色 (図 2-11)、パスしなかった場合は赤色となり、以下、試験の全項目について試験の内容と結果が記載される。テストに合格しなかった場合もテストレポートの記載に準じた修正を行うことで最終的に合格できるようになっている。

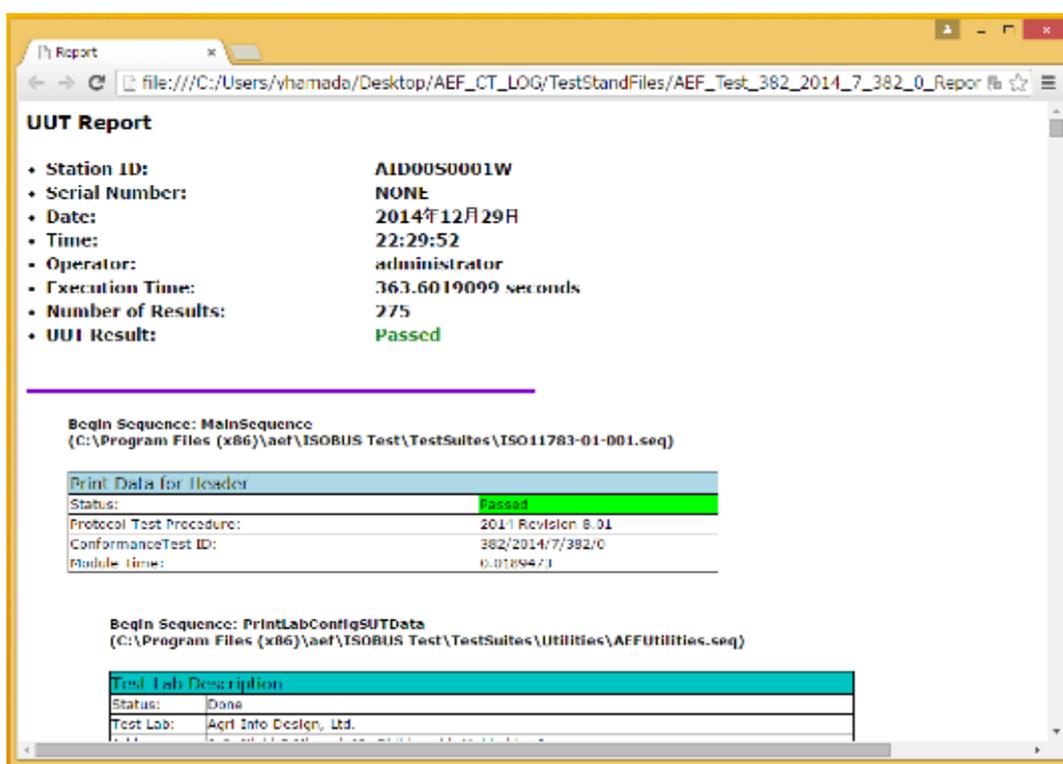


図 2-11 テストレポートの例

5) ISOBUS 適合試験機器用接続ユニットの動作確認

本ユニットは米国 CertTech 社製で、コンフォーマンステスト専用の機材である。前述のテストラボラトリーでは本ユニットを使用しており、本ユニットを使用することでテストラボラトリーと同様の試験を個なうことができる。

本ユニットの内部には CAN-USB インターフェースに加え ECU 側の接続を任意に制御できる機器が内蔵されている。CAN-USB インターフェースのみでコンフォーマンステストを行う場合、テストの途中で電源接続・切断を相当回数行う必要があり大きな手間が発生するが、本ユニットを使うことでこれらの手間を省くことができるほか、CAN 通信のサンプリングポイント (通信内容が 0 または 1 のいずれになるかを決め

る時間) の設定も可能となるため、ハードウェア的な通信の信頼性に関係する部分も確認することが出来るようになっている。

本ユニットのインストールは National Instruments 社より提供されるデバイスドライバをインストールした後、NI TEST STAND 上のインターフェースの設定を変更することで利用が可能となる。

本ユニットを適用したコンフォーマンステストを前述の試行用の ECU を適用して実施し、所定の動作を行うことを確認した(図 2-12)。



図 2-12 ISOBUS 適合試験機器用接続ユニットの動作確認

(4) ソフトウェア基盤高付加価値化検討

【研究実施内容】

1) インターネットへ接続する イーサネット/CAN ゲートウェイの基礎研究

IOT (Internet of Things、モノのインターネット) ではあらゆる物をインターネットに接続する。農業機械にも将来的 (既に?) には、この機能が求められる。今回の研究開発では CAN を応用した ISO-BUS をテーマとしており、CAN 経由でインターネットに接続する事が必要となる。インターネットに接続する手段としては、汎用性のあり、安価にネットワークを構成できるイーサネットが最適である。

イーサネット/CAN ゲートウェイの構成は、AgriBusBoard32 と別に、イーサネット・CAN を搭載した TECL01/02 を、ISO-BUS に接続し、イーサネット/CAN ゲートウェイとする。ただし、リアルタイム性の観点から、CAN バス上の装置からゲートウェイを経由した各種情報の取得の研究開発を優先し、ゲートウェイを経由したインターネットからの CAN バス上の装置の制御に関しては、実装のための基礎研究を行う。

AgriBusBoard32 と TECL01/02 に分離することによる利点を以下に示す。

[1] イーサネットの高速大容量のデータ転送が利用できる。

CAN では高速大容量のデータ転送は困難である。

[2] TECL01/02 の開発では、RTOS と TINET はほぼそのまま流用できる。

・ TOPPERS/ECNL の配布ファイルに含まれているイーサネットドライバを流用する。。

[3] セキュリティが確保しやすい。

・ 苫小牧高専（道総研）の IPSec の ESP は、開発がほぼ完了している。AH/IKE はこれからの研究テーマとしている。

[4] Agr iBusBoard32 との機能と処理能力の分担が容易である。

・ 安全性・信頼性を確保しやすい。

・ RTOS は OSEK/VDX であり、TINET を実装するにはハードルが高い。

・ Agr iBusBoard32 にはイーサネットインタフェースがない。

TECL01/02 には、移植性を考慮し、CAN とイーサネットドライバ以外は既存のソフトウェアを利用し、開発期間を短縮する。

本研究開発において 既の開発済みで、容易に移植可能なソフトウェアを以下に示す。

[1] RTOS: TOPPERS/ASP 1.9

[2] IPv6/IPv4 デュアルスタック対応 TINET-1.7

本研究開発において移植及び新規研究開発が必要なソフトウェアを以下に示す。

[3] RX62N 対応のイーサネットドライバ

TOPPERS/ECNL の配布ファイルに含まれている RX62N のイーサネットドライバを流用する。

[4] ASP 対応の CAN 通信ミドルウェア

[5] イーサネット/CAN ゲートウェイ

2) イーサネット/CAN ゲートウェイにおけるデータ処理高速化に関する検討

(1)で述べた IoT の普及に伴い、今後、農業機械の高度・精密な作業を行うために、大容量データのインターネットに対するセキュアな伝送と高速処理が必要となることが予想される。また、インターネットにおけるセキュリティの保証に用いられる IPSec では、暗号認証処理の負荷増大が問題となっている。このため、(1)のイーサネット/CAN ゲートウェイ用の IPSec 暗号認証処理の高速化に関する検討を行い、ゲートウェイにおける IPSec 暗号認証処理の構成を決定する。

3) ソフトウェア基盤の形式手法による記述についての検討

検討の導入として、形式手法によるシステム記述の概要を修得し、引き続き、ソフトウェア開発技術の観点からの形式手法の調査を行う。

種々の形式手法の中から農業機械の制御ユニットの基盤となるソフトウェア実現に則した形式手法の技術に着目し、その技術を習得するとともに、形式手法による I/O ドライバの記述と検証、OSEK ハードウェア依存部の記述と検証についての検討を行う。

【研究成果】

1) インターネットへ接続する イーサネット/CAN ゲートウェイの基礎研究

本研究開発で、以下に示す[1]～[3]の項目に関しての移植は終了した。

[1] RTOS: TOPPERS/ASP 1.9

[2] IPv6/IPv4 デュアルスタック対応 TINET-1.7

[3] RX62N 対応のイーサネットドライバ

TOPPERS/ECNL の配布ファイルに含まれている RX62N のイーサネットドライバは、ほぼそのまま流用可能であった。

[4]の ASP 対応の CAN 通信ミドルウェアは基本的な通信動作を確認した。

[5]のイーサネット/CAN ゲートウェイに関しては、平成 27 年度以降の主要な研究開発のテーマである。

2) イーサネット/CAN ゲートウェイにおけるデータ処理高速化に関する検討

IPSec における暗号認証処理の高速化については、過去に、専用ハードウェアによる方法、マルチコア CPU を用いる方法、動的リコンフィギャラブルプロセッサを用いる方法、FPGA による処理のハードウェア化による方法等が提案されている。

専用ハードウェアによる方法では、TCP/IP、IPSec とともにハードウェア化されており、CPU も使用しないため最も高速な処理が可能で、消費電力も極めて低い。ギガビット・イーサネットに対応したものが製品化されている。しかしながら、IPSec における通信方式、暗号化方式、プロトコル、認証機能にすべて対応しようとする、ハードウェア化のコストが非常に高くなる。このため、機能を取捨選択して ASIC 化する方法も提案されているが、ASIC であるため構成の変更は難しく、CAN 等のインターフェースを追加することも容易ではない。

マルチコア CPU を用いる方法では、MIPS64 コア 500MHz を 16 個有するマルチコア CPU を用いて、実効性能として 1Gbps のスループットを実現した例がある。しかしながら、暗号認証処理でボトルネックとなる暗号処理については、FPGA によるハードウェアを併用している。

動的リコンフィギャラブルプロセッサを用いる方法では、NEC DRP-1 と制御用の CPU との併用で最大 344Mbps のスループットを実現している。リコンフィギャラブルプロセッサを用いているため、構成の変更には柔軟に対応できるが、開発環境は一般的ではなく、CAN への対応もなされていない。

これらに対し、FPGA を用いる方法では暗号認証処理をすべてハードウェア化できることに加えて、開発環境を整え易く、ハード IP あるいはソフト IP として CPU コアが用意されており、より柔軟に IPSec 暗号認証処理が実現できる。また、ALTERA の FPGA では CAN 用の IP も用意されており、IPSec の暗号認証処理のみならず、TECL01/02 が受け持つ機能を包含したイーサネット/CAN ゲートウェイを 1 チップの FPGA で実現できる。

以上より、開発の容易さ、TECL01/02 ボードとの接続性、イーサネット/CAN ゲートウェイ機能と IPSec 暗号認証処理高速化機能の一体化のし易さを考慮した結果、FPGA による処理のハードウェア化が適当との結論を得た。

具体的には、ALTERA Cyclone V SoC を使用する。Cyclone V SoC は CPU のハード IP として ARM Cortex-A9 を内蔵しており、ソフト IP の Nios II と併せて、十分な処理能力を有する。

上記の検討の他、Cyclone V SoC FPGA への SoC 構築、Cyclone V SoC FPGA への Toppers/ASP カーネル移植に関する調査を行った。

3) ソフトウェア基盤の形式手法による記述についての検討

検討の導入として VDM++ によるシステム記述の概要を修得した。

種々の形式手法の中からシステム構築の首尾一貫性に関する証明可能性の観点より B-Method に着目し、形式手法および B-Method に係る以下の内容の講習会を開催し、形式手法におけるシステム記述に要する以下の事柄について修得した。

- ・形式手法の導入の意義について
- ・形式手法の技術における B-Method の位置付け
- ・Hoare 論理とダイクストラの述語変換意味論における最弱事前条件
- ・B-Method における仕様の詳細化
- ・B-Method における定理証明系について

当講習会において修得した内容に則する形で、B-Method によるシステム記述の初期段階として B-Method にシングルタスク状態遷移モデルとしてのシンプルな CPU モデルのハードウェアを記述した。

2-3-1 H27 年度の実施内容

H. 27 年度は、故障検出ライブラリや ISOBUS 通信ミドルウェア等を実証用ハードウェアとして使用する ECU ボード上で動作するようにし、来年度の製品化作業(改良/実証デモ/教材開発等)に向けた準備を行うことを目標とする。

【タスクと主担当機関】

- 1) 故障検出ライブラリ開発：株式会社ヴィッツ
- 2) Ethernet/CAN ゲートウェイ：苫小牧工業高等専門学校
- 3) FPGA 併用検討：苫小牧工業高等専門学校
- 4) ソフトウェア基盤形式モデル化：苫小牧工業高等専門学校
- 5) ISOBUS 通信ミドルウェア開発：株式会社ヴィッツ

2-3-2 H27 年度の研究内容と成果

(1) 故障検出ライブラリ開発

【研究実施内容】

機能安全対応に必要なとなる故障検出機能を実現するために、故障検出ライブラリを開発することとした。サブテーマ 2 で検討された内容を基に、下記手順に従って必要な機能を実装した。

- 1) 仕様検討
- 2) コーディング
- 3) 動作確認

【研究成果】

1) 仕様検討

サブテーマ 2 で検討された内容を基に、故障検出ライブラリに実装する機能について検討した。

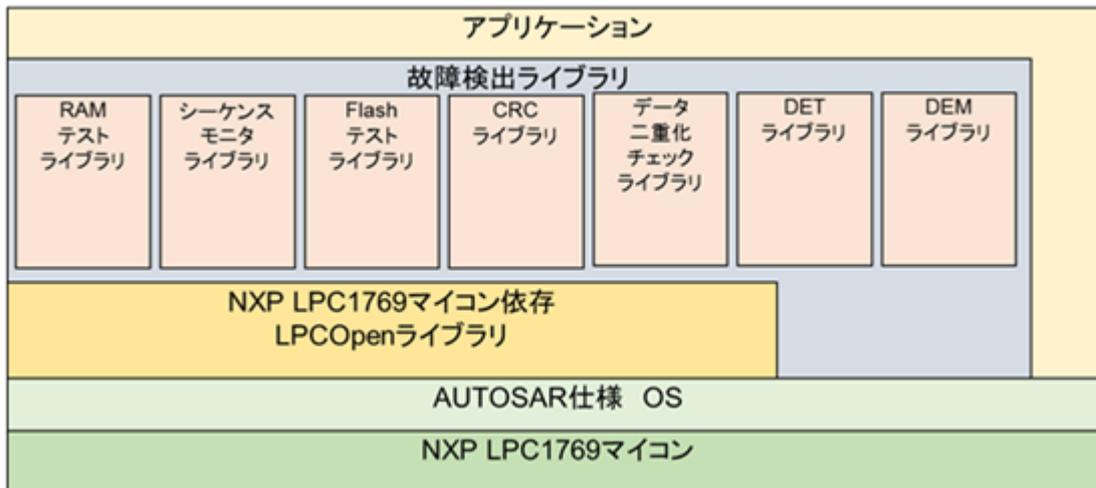


図 2-13 故障検出ライブラリの構成

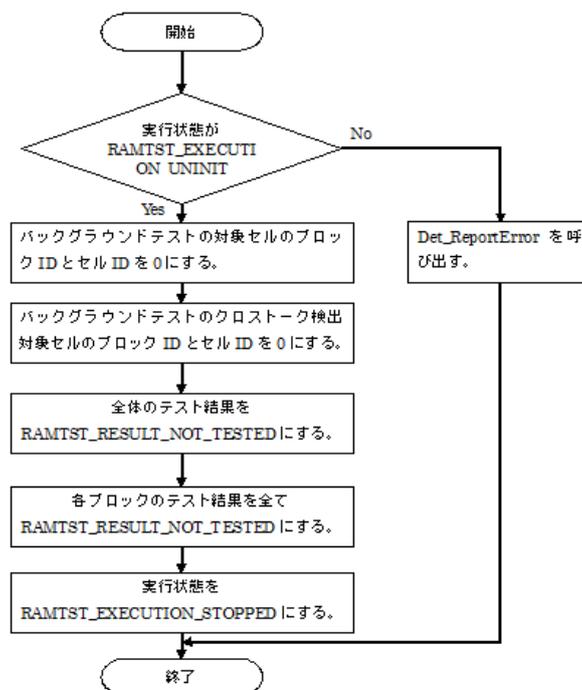


図 2-14 フローチャートの例

2) コーディング

1)の検討結果を基に、コーディングを行った。

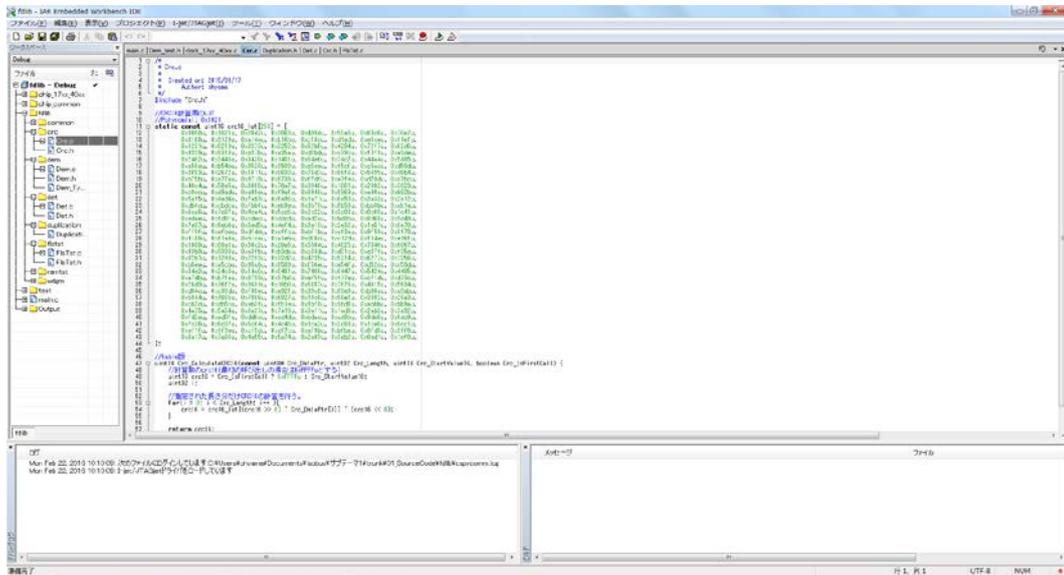


図 2-15 作成コードの例

3) 動作確認

コーディングした故障検出ライブラリが Agr i BusBoard32 上で動作することを確認した。

(2) Ethernet CAN ゲートウェイの基礎技術の確立

【研究実施内容】

平成 26 年度には、以下に示す [1]～[3]の項目に関しての移植は終了した。

[1] RTOS: TOPPERS/ASP 1.9

[2] IPv6/IPv4 デュアルスタック対応 TINET-1.7 (平成 27 年度以降継続)

[3] RX62N 対応のイーサネットドライバ

TOPPERS/ECNL の配布ファイルに含まれている RX62N のイーサネットドライバは、ほぼそのまま流用可能であった。

平成 27 年度の実施項目を以下に示す。

[2] IPv6/IPv4 デュアルスタック対応 TINET-1.7

TINET-1.7 のコアのソフトウェアの実装は終了したが、TECL01/02 を含む各ターゲット依存部のソフトウェアの実装は不完全であり、サンプルネットワークアプリケーションやドキュメント等の整備を行っている段階で

ある。TOPPERS プロジェクト内での早期リリースを一度行っているが、完成度を高めるため、今後も何度か早期リリースを行う必要があり、完成度を高めたいうえで、平成 27 年度中に一般に公開する。

[4] ASP 対応の CAN 通信ミドルウェア

平成 26 年度に、ASP 対応の CAN 通信ミドルウェアは基本的な通信動作を確認した。平成 27 年度は、応用層からの汎用的な CAN 通信の API の検討が必要である。これに関しては、「3-2-1(2) CAN ドライバの開発」と連携し研究開発を実施する。

[5] イーサネット/CAN ゲートウェイ

平成 27 年度以降の主要な研究開発のテーマであり、CAN バス上の装置からゲートウェイを経由した各種情報の取得の研究開発を行う。

【研究成果】

平成 27 年度には以下に示す項目の実装は終了した。

[2] IPv6/IPv4 デュアルスタック対応 TINET-1.7

TINET-1.7 のコアのソフトウェアの実装と、TECL01/02 を含む各ターゲット依存部のソフトウェアの実装は終了した。

[4] ASP 対応の CAN 通信ミドルウェア

ASP 対応の CAN 通信ミドルウェアの実装は終了した。

[5] イーサネット/CAN ゲートウェイ

イーサネット/CAN ゲートウェイの実装は終了し、CAN バス上の装置からゲートウェイを経由した各種情報の取得は可能になった。

[6] ISOBUS シールドの設計開発

ISOBUS デモンストレーション・学習者向けの評価キットの開発を目的に、ISOBUS シールドの開発を行った。

その成果物として、TEC-IBS (ISOBUS シールド) の設計開発を行った。基板は、Arduino 互換基板とし GR-SAKURA (RX63N マイコンボード)、GR-PEACH (ARM A9 マイコンボード)、Arduino DUO3 などの CPU 基板を装着できる。これにより、ISOBUS (CAN) 通信が可能となる。

本年度は、ハードウェアの開発を完了した。この成果物は、今年度の CAN-Ether ゲートウェイやアグリバスボード上の CAN 通信の成果物を次年度の評価キットの開発に活用する。このことにより、本事業の最終的な目標である事業化に寄与することが期待できる。

(3) FPGA との併用検討

【研究実施内容】

イーサネット／CAN ゲートウェイにおけるデータ処理のFPGA との協調処理に関する検討を行う。セキュリティ確保の点から、TECL01/02 と直接接続するデータ処理ハードウェアをFPGA 上に構築することを想定し、研究を進める。平成 27 年度は、FPGA 上の SoC とイーサネット／CAN ゲートウェイとなる TECL01/02 との直接接続についての検討を行う。

【研究成果】

[1] TECL01/02 との直接接続に関する検討

まず、今年度の検討課題である、FPGA 上の SoC とイーサネット／CAN ゲートウェイとなる TECL01/02 との直接接続について検討した。

検討の結果、セキュリティの観点から、イーサネット及び CAN とは独立した経路であるべきとし、他のマイコンボードをゲートウェイとして使用した場合等の汎用性観点から、UART による直接接続とした。

FPGA 上の SoC に実装する RTOS は、将来、イーサネット／CAN ゲートウェイも FPGA 上の SoC に実装すること、今回使用する FPGA にはデュアルコアの ARM Cortex-A9 が乗っていること、TECL01 に実装している RTOS が、TOPPERS ASP カーネルであること等を考慮し、ASP カーネルをマルチコア対応に拡張した TOPPERS FMP カーネル 1.3.0 とした。

[2] FMP カーネルの実装と UART 接続

TOPPERS FMP カーネル 1.3.0 を、Altera Cyclone V SoC 開発キットボードをターゲットとしてビルドした。コンフィギュレータには Release 1.9.4、arm-none-eabi-gcc 4.9.3 を用いた。

FMP カーネルのビルド後、FMP カーネルを実装するための Cyclone V SoC 上のハードウェアデザインとして、RocketBoards.org の GHRD をコンフィギュレートした。さらに、プリローダに SPL、ブートローダに U-boot を使い、FMP カーネルをロード・実行した。アプリケーションとしては、TOPPERS の Sample1 を実行し、Windows PC 上の Terminal ソフトウェアとの UART によるシリアル接続を確認した。

TECL01/02 側では、Cyclone V SoC との UART 接続のアプリケーションを作成し、動作を確認した。

[3] FPGA との併用に関する検討

Cyclone V SoC の FPGA ブロックに実装する機能について検討を行った。検討の結果、農業機械による作業中の巻き込まれ事故防止を目的として、CMOS イメージセンサからの画像をリアルタイムで解析し、巻き込まれの危険が想定される場合に、アラート信号を生成する機能を、FPGA ブロックに構築することとした。

今年度は、準備段階として、入力を Terasic の CMOS イメージセンサ TRDB_D5M、CPU を Altera ソフトコア CPU Nios II、出力を VGA コントローラとした SoC を構築した。

【今後の課題】

北海道立総合研究機構工業試験場殿のリアルタイムステレオビジョン処理の FPGA ブロックへの実装を検討する

(4) ソフトウェア基盤形式モデル化

【研究実施内容】

平成 27 年度の実施項目を以下に示す。

[1] 形式手法によるタイマドライバの記述に関する検討

リアルタイム OS のタイマドライバに対する形式モデリングに関する調査・検討を行う。

[2] 形式手法による SCI (serial communication interface) ドライバの記述に関する調査・検討

リアルタイム OS の SCI ドライバに対する形式モデリングに関する調査・検討を行う。

[3] デバイスドライバに対する形式手法の適用に関する調査・検討

上記の調査・検討を踏まえ、形式手法を適用して、モデルを記述する。

【研究成果】

[1] 形式手法によるタイマドライバの記述に関する検討

リアルタイム OS である TOPPERS /ATK2 の Skyeeye シミュレータ簡易パッケージ (ARM) に着目し、そのタイマドライバに対する形式モデリングに関する調査・検討を行った。

[2] 形式手法による S C I (serial communication interface) ドライバの記述に関する調査・検討

リアルタイム OS である TOPPERS/ATK2 の TECL 対応版 (RX62N) に着目し、その SCI ドライバに対する形式モデリングに関する調査・検討を行った。

[3] デバイスドライバに対する形式手法の適用に関する調査・検討

上記の調査・検討を踏まえ、形式手法 B-Method を適用して、TOPPERS/ATK2 のタイマドライバ・SCI ドライバに対する形式モデルを記述した。

(5) ISOBUS 通信ミドルウェア開発

【研究実施内容】

- 1) アプリ I/F 設計
- 2) ISO 11783 通信機能開発
- 3) 動作確認

【研究成果】

1) アプリ I/F 設計

通信レイヤのアプリケーション層を設計した。アーキテクチャ設計の結果を下図に示す。

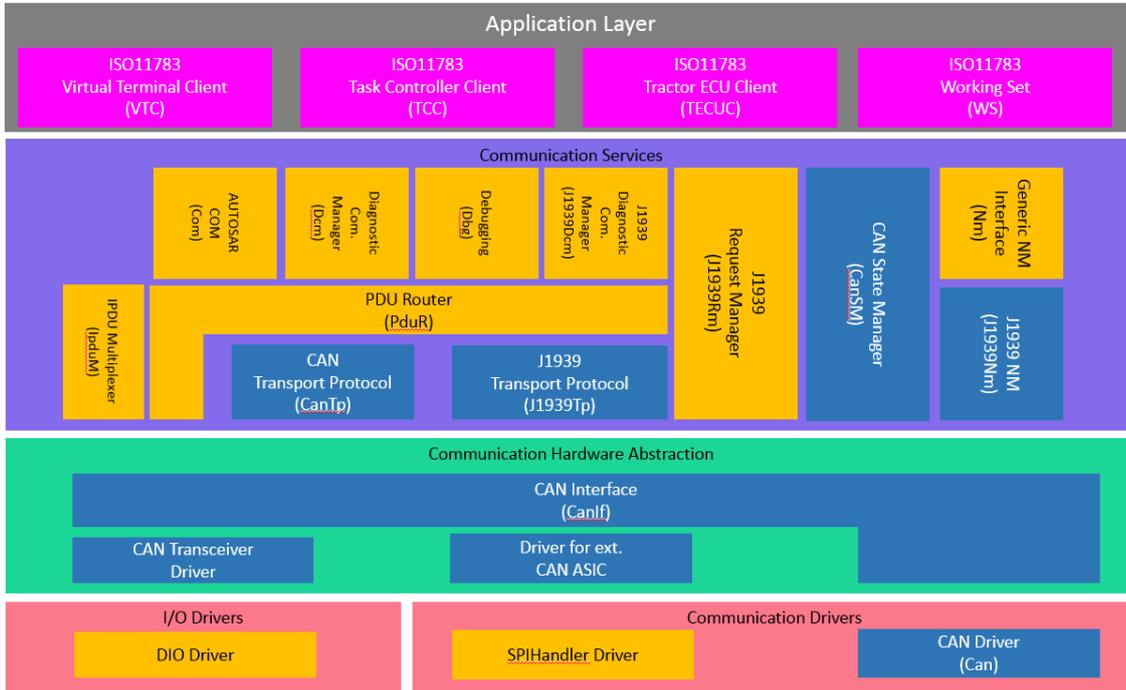


図 2-16 ISOBUS 通信ミドルウェアのアーキテクチャ

図中の最上位に位置するアプリケーション層に 4 つのコンポーネント (VTC、TCC、TECTC、WS) を追加する。各コンポーネントの説明を以下の表に示す。

コンポーネント名称	説明
VTC (Virtual Terminal Client)	ISO 11783 Part 6 (バーチャルターミナル) にて規定される通信仕様のうち、クライアント側に必要な機能を実現する。
TCC (Task Controller Client)	ISO 11783 Part 10 (タスクコントローラ) にて規定される通信仕様のうち、クライアント側に必要な機能を実現する。
TECUC (Tractor ECU Client)	ISO 11783 Part 9 (トラクタ ECU) にて規定される通信仕様のうち、クライアント側に必要な機能(とりわけ作業機アプリケーションの実現に必要な部分)を実現する。
WS (Working Set)	ISO 11783 Part 7 (作業機メッセージ) にて規定される通信仕様のうち、作業機アプリケーションの実現に必要な機能(とりわけ作業機アプリケーションがワーキングセットとして振る舞うために必要な部分)を実現する。

表 1 アプリケーション層の各コンポーネントの説明

今回開発したアプリケーション層より下層に位置するコンポーネントはAUTOSARの詳細設計仕様に基づいて開発されているため、これらとの相性に配慮して、設計思想はAUTOSARスタイルを踏襲する形とした。具体的には、コンフィギュレーション部分を明確に分離し、ミドルウェアのユーザーがアプリケーションの都合に合わせて動作をカスタマイズできる設計とした。

2) ISO 11783 通信機能開発

詳細設計工程において状態遷移図およびシーケンス図を記述した。また実装工程においてソースコードを記述した。それぞれ具体例を以下に示す。

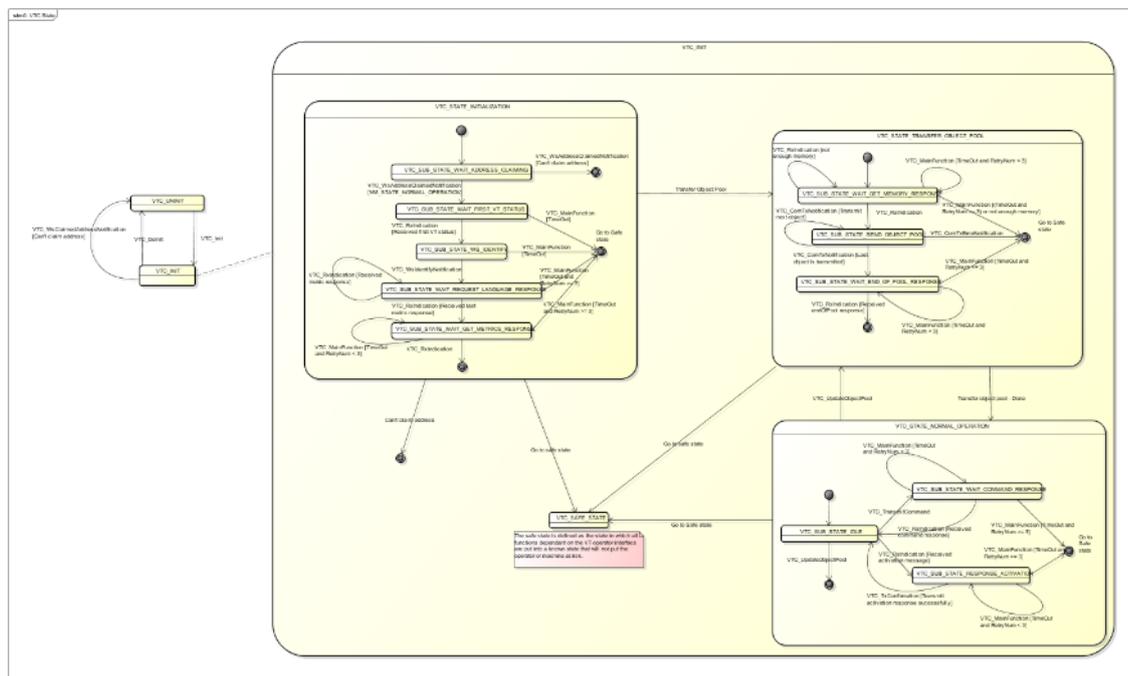


図 2-17 詳細設計書の抜粋 (VTC コンポーネントの状態遷移図より)

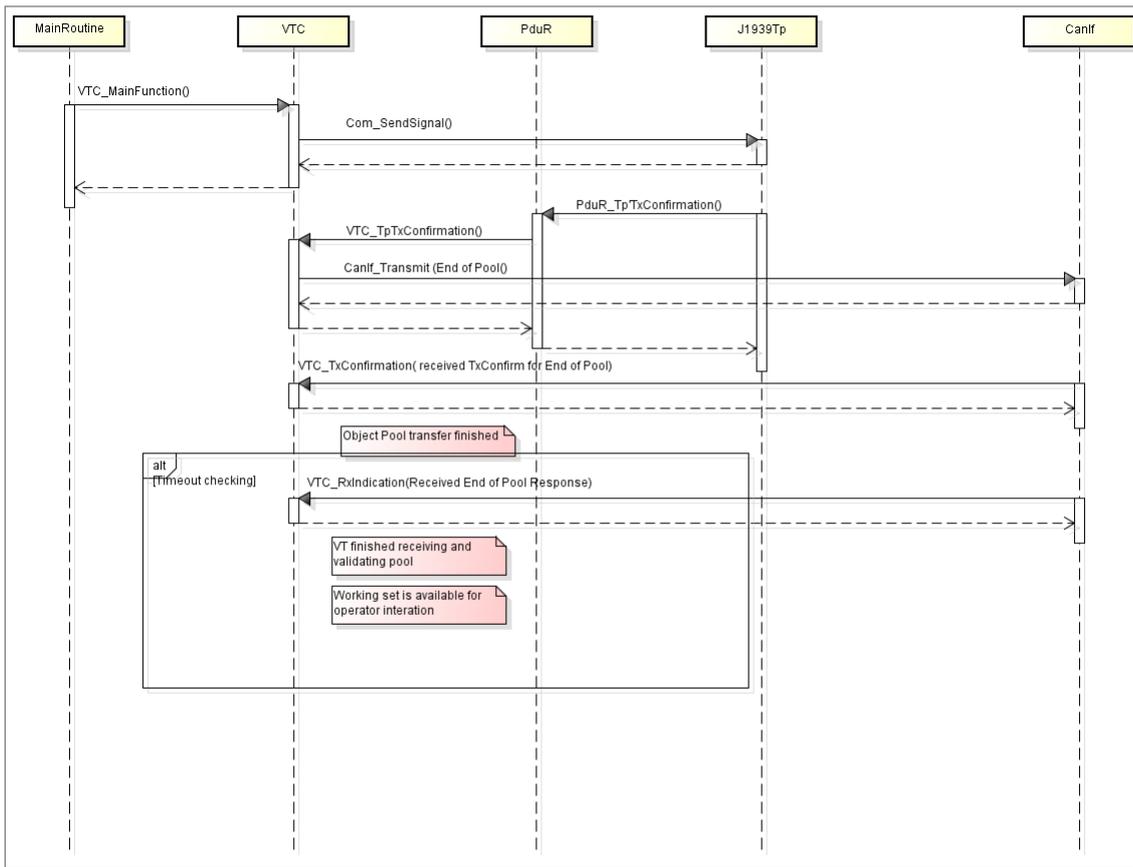


図 2-18 詳細設計書の抜粋 (VTC コンポーネントのシーケンス図より)

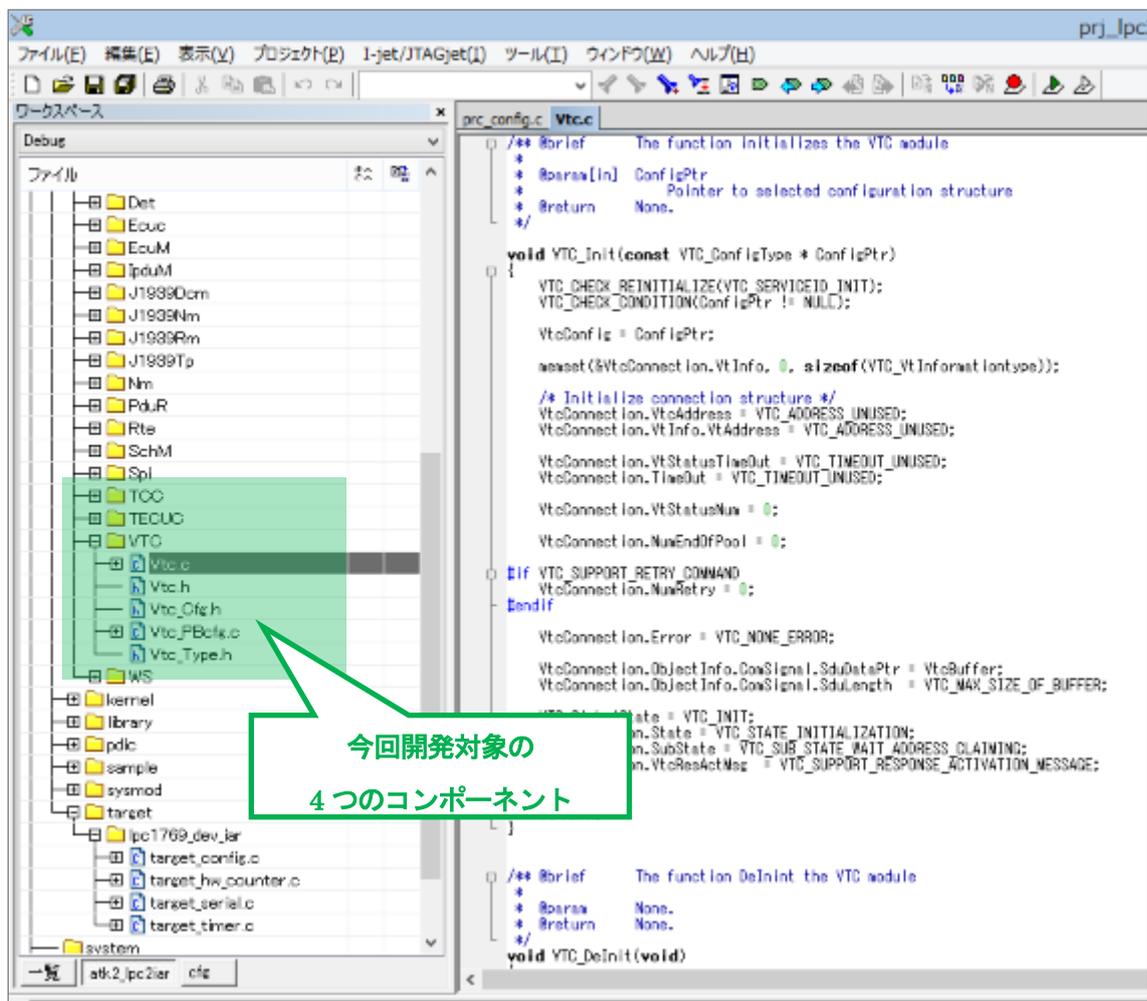


図 2-19 ソースコードの抜粋(VTC コンポーネントの実装より)

3) 動作確認

H26 年度導入機器設備のひとつであるバーチャルターミナル（Amazon 社製 AMATRON3）を、市販の ISOBUS 対応製品の具体例として動作確認に用いた。結果として AMATRON3 と相互通信が可能であることを確認した。

また、動作確認を効率よく実施するために、以下の補助ツールを新規開発した。

補助ツール名称	説明
ISOBUS 通信モニタ (仮称)	ISOBUS の通信内容をリアルタイムで表示するツール。 ISOBUS の通信規格に従って、パケットの内容を文字列や色で可読性高く表示する。作業機アプリケーションの開発に伴うトラブルシューティングに必須と言って良い。
VT マスクデザイナー (仮称)	バーチャルターミナルに表示する画面レイアウト情報(これを ISO 11783 ではマスクと呼ぶ)をデザインするツール。
VT シミュレータ (仮称)	VT の動作を模擬するツール。

今回の開発はコスト削減のためオフショア開発を実施したが、オフショア先で AMATRON3 の実機がなく動作確認が困難であったため、本シミュレータにより動作確認した。

表 2 今回開発した補助ツールの説明

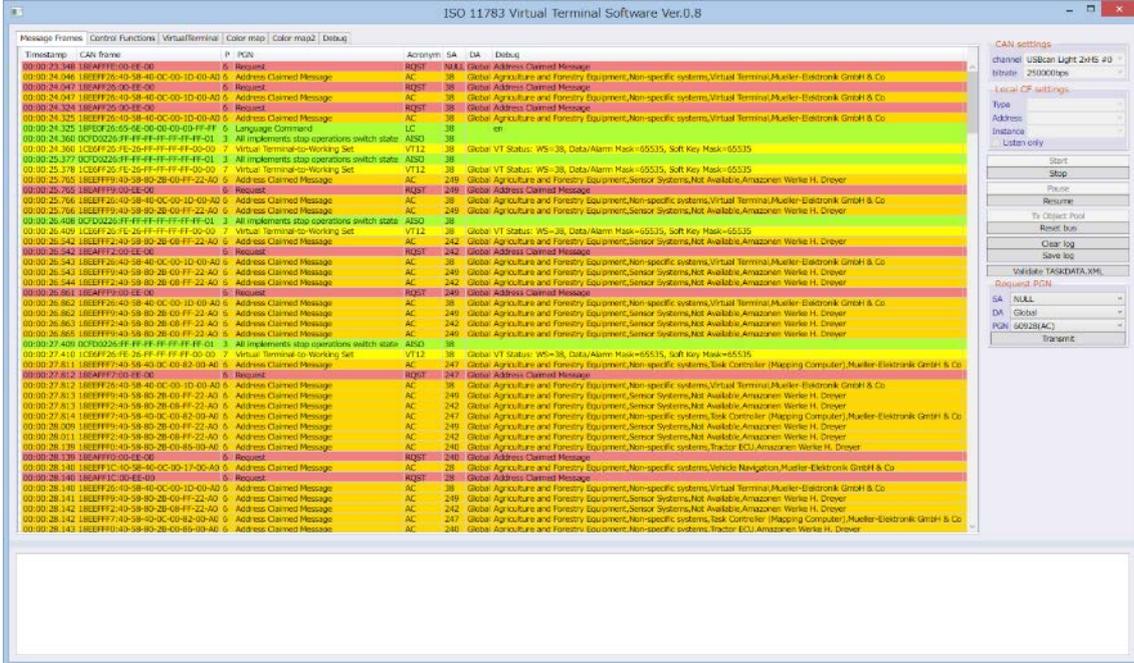


図 2-20 ISOBUS 通信モニタ (仮称) の画面例



図 2-21 VT マスクデザイナー (仮称) の画面例



図 2-22 VT シミュレータ (仮称) の画面例

2-3-1 H28 年度の実施内容

H28 年度は事業化に向けた機能改善や技術普及に向けた活動を目的として以下のタスクを実施した。

【タスクと主担当機関】

- ・ 基盤技術実証用応用試作・教材化：苫小牧高専
- ・ 製品パッケージ化のための改良：(株)ヴィッツ
- ・ 市販 ISOBUS 製品との互換性確保：(株)ヴィッツ

2-3-2 H28 年度の研究内容と成果

(1) 基盤技術実証用応用試作・教材化

- 1) CAN/イーサネット GW の基礎技術確立

CAN/イーサネット GW は IPv6/IPv4 デュアルスタック対応 TINET-1.7 と ASP 対応 CAN 通信ミドルウェアを用いて CAN バスと Ethernet に流れる情報を相互に活用できるようにするためのものである。

Ethernet の併用は画像データの利用など CAN バスのみでは容量的に能力が不足する用途のニーズが上がっており、次世代の農機通信基盤として有望な技術の一つである。

ボード～CAN～GW～イーサネット～PC 間の CAN/イーサネットを経由した送受信機能の試作・試験を実施・完了し、ET/IoT 総合技術展においてデモを実施した。試作アプリケーションは GW 応用層データの交換を行い、アプリケーション GW として動作するものである。

また、これらのソフトウェアを教材として利用できるようにするため、GR-SAKURA (RX63N マイコンボード) への移殖を実施した。

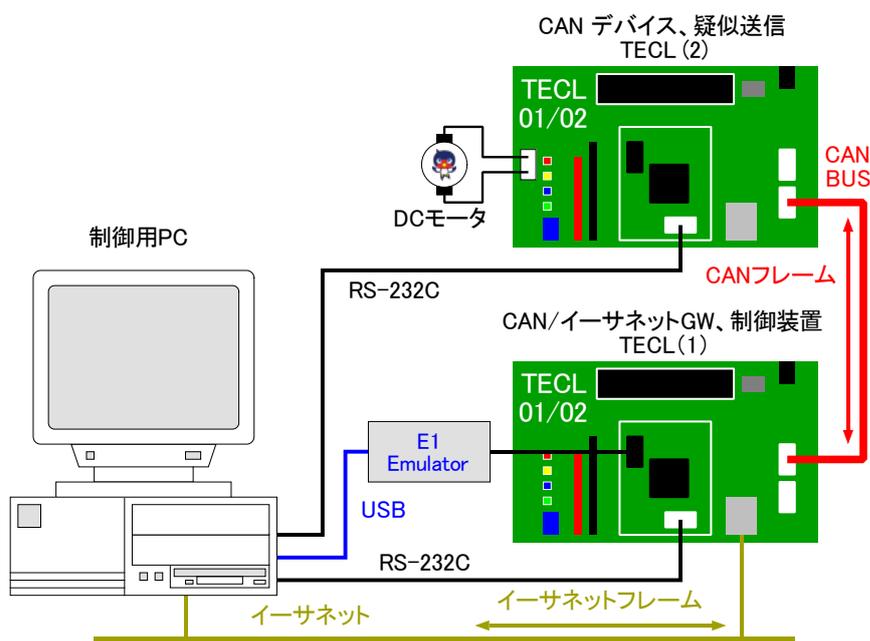


図 2-23 C2EGW 試験ネット構成図

[1] IPv6/IPv4 デュアルスタック対応 TINET-1.7

TOPPERS プロジェクト内での早期リリースを行った。実装上の問題の解決を行い早期に一般公開する。

[2] ASP 対応の CAN 通信ミドルウェア

応用層からの汎用的な CAN 通信の API について検討し、実装した。[3] C2EGW 試験ネットワークでも使用しデモンストレーションを実施した。

[3] C2EGW 試験ネットワーク

平成 27 年度に開発を行った CAN/イーサネット GW により構成する試験ネットワークにより以下に示す日程で、デモンストレーションを行った。

2016/6/18「オープンソフトウェアカンファレンス（OSC）」

2016/11/16～11/18「ET/IoT 総合技術展」

2016/11/30～12/1「北海道スマート農業フェア」

2017/2/13「IoT時代の農業イノベーションセミナー」

[4] GR-SAKURA (RX63N マイコンボード) をターゲットとしたポーティング

GR-SAKURA (RX63N マイコンボード) をターゲットとし、ASP カーネル、TINET-1.7、CAN 通信ミドルウェア等のポーティングを行った。

2) FPGA との併用：リアルタイムステレオビジョン処理の FPGA ブロックへの実装

農業機械等においてもリアルタイム画像処理などの高速大容量データ処理のニーズが高まっている。これに対応する基礎技術の確立のため、FPGA を用いたリアルタイム画像処理の試作を行った。

Terasic のモノラル CCD センサーを 2 台使用したステレオ入力インタフェースを作成し、入力画像の視差から奥行距離をリアルタイム演算で求めて危険個所に作業者の手が挿入されたことを検出する用途を想定し、試作アプリケーションを開発した。



図 2-24 ステレオ画像入力インタフェース

今回使用する、北海道立総合研究機構工業試験場で開発されたリアルタイムステレオビジョン処理 IP では、左右画像間の対応点探索手法として方向符号照合法 (OCM) を用いている。OCM は SAD と同程度の演算量で処理可能で、遮蔽や明度変動におけるロバスト性に優位性があり、屋外での安定した計測を行える。本研究では、この IP を Altera 社 Cyclone V SoC (CPU コア ARM Cortex-A9 内蔵) FPGA に実装した。

IP の実装にあたって、Cyclone V SoC に対応させるため、IP 内で使用しているバッファ及びシステム動作周波数の変更、出力画像用の画像有効信号生成回路の設計・実装を行った。また、画像サイズは 640 ×

480[pixel]、照合処理の際のテンプレートサイズは16×16[pixel]、視差は0~127 [pixel]まで検出できるようにした。

IPの実装後、FPGA用カメラとしてTerasic社のTRDB-D5Mを2台使用した視差画像出力システムを構築した。以下に、システムフロー図を示す。

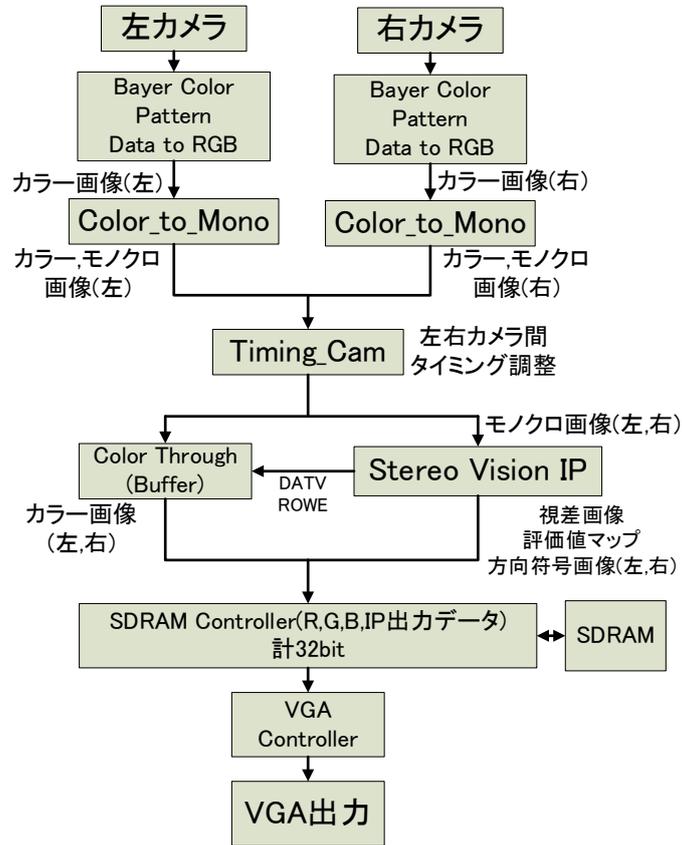


図 2-25 IP を用いた視差画像出力システムのフロー図。

具体的には、以下の5点の回路設計・実装を行った。

- ・ 画像データのモノクロ化処理回路の設計・実装
- ・ 左右カメラ間のタイミング調整用回路の設計・実装
- ・ スルー画像バッファ用回路の設計・実装
- ・ ステレオカメラ用基板の作製
- ・ ステレオカメラ入力対応部の設計・実装

VGA 出力からは以下の画像を出力する。

- ・ スルー画像(元画像, 左右)
- ・ 方向符号画像(左右)

- ・ 評価値マップ
- ・ 視差画像

以下に、スルー画像および視差画像の出力結果を示す



図 2-26 開発 FPGA アプリによるステレオ画像からの奥行検出実施例

3) ソフトウェア基盤の形式モデル化による検証

基盤ソフトウェアで実用上不具合を起こしやすいデバイスドライバ層の高品質化に寄与する基盤技術として、形式手法の適用ノウハウを修得した。

組込み用デバイスドライバの形式モデルを作成し、形式手法のエキスパートより技術指導を受けることで、実用的なモデル記述ノウハウなどの知見を高め、また保証すべきプロパティの証明技術を修得することができた。

昨年度の TOPPERS/ATK2 のデバイスドライバに対する Atelier-B の適用による形式記述の過程より、参考にした仕様においては明示されていない、想定すべき新たなトラブル事象、例えば、当ドライバのターゲット依存部内の受信割込み対応サービスルーチンにおける多重受信割込みに伴うトラブル等を発見し、対応を行う事により、より堅固なモデルを提案できるという効果を得た。

この総括の結果を踏まえて仏国・ClearSy 社によるコンサルティングを受講し、その結果、形式モデル記述のより合理的なアプローチとして、デバイスドライバとその周囲の環境をトランザクションに基づいたシステムレベルとソフトウェアレベルとに分割する考え方に基づくトップダウンなアプローチの提案を受けた。

この受講結果を踏まえて Atelier-B の適用によるトップダウンなアプローチによる形式記述の結果や論理証明の効果として、システムレベルにおけるトランザクションの各イベントの実行に伴う状態遷移を安

全に行えることを保障する事ができた。また、この状態遷移に際して、プロパティが保障される事、つまり、変数・フラグという資源の管理運用を安全に行えることができるという効果を得た。よって、B-Method の適用による形式モデル化を通じて、より堅固な、安全性の保障に関する説明能力を持つモデルを提案できるという、機能安全性を有する基盤ソフト開発に資する成果を得る事ができた。

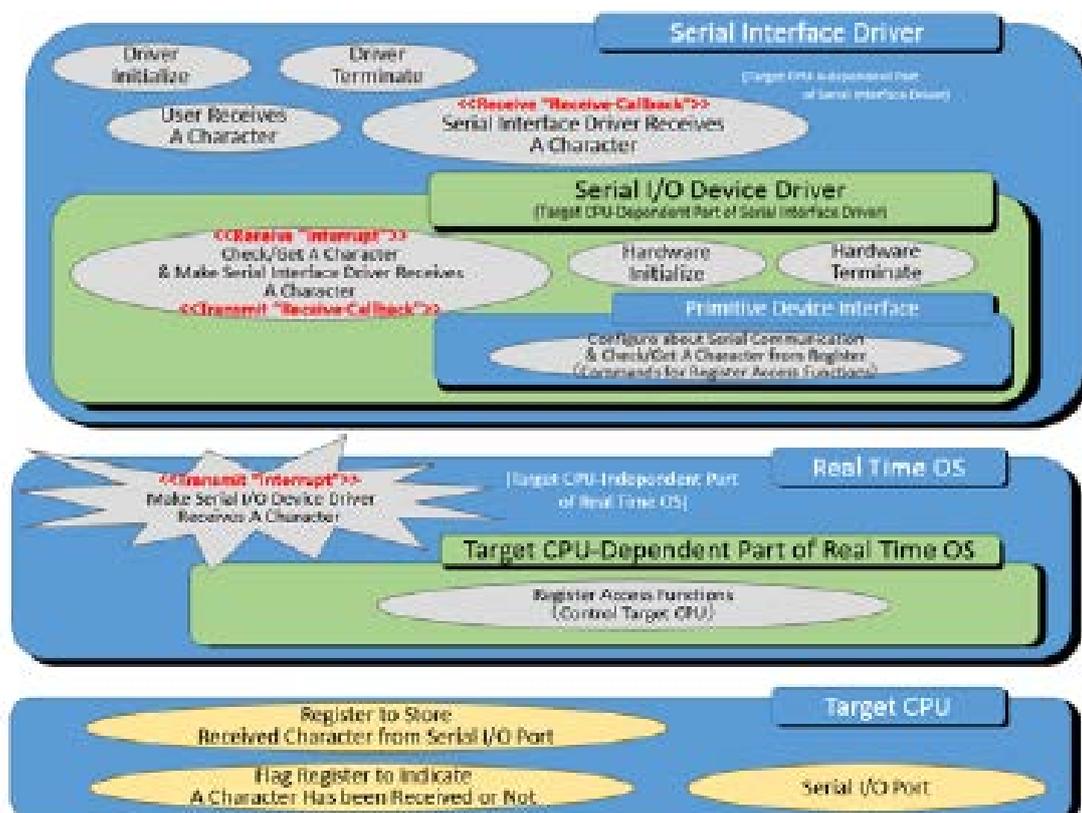


図 2-27 モデル化対象としたシリアルインタフェースドライバと周辺環境の概要

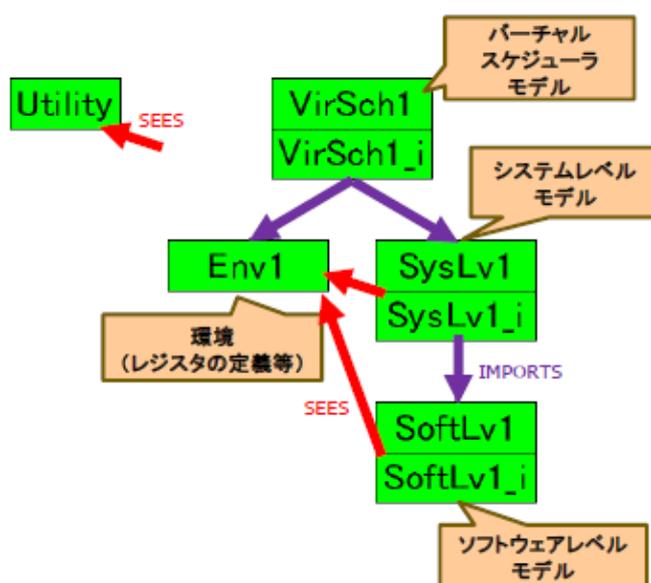


図 2-28 作成したドライバモデルの構造図

(2) 製品パッケージ化のための改良

農業機械間の通信の国際業界標準である ISOBUS 対応することの主目的は、様々なメーカーの機器と相互に接続して運用できるようにすることである。

当事業でソフトウェア基盤として開発した成果物は、作業機 ECU 向け ISOBUS 通信ライブラリと、任意の PC 上で実行できるソフトウェア VirtualTerminal (作業機操作端末) である。

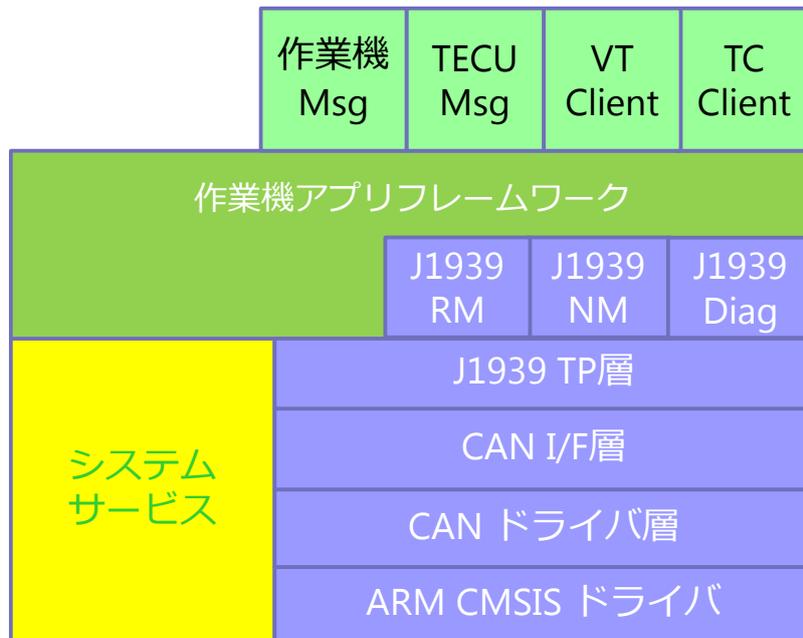


図 2-29 当事業で開発した作業機 ECU 向け ISOBUS 通信ライブラリの構成図



図 2-30 当事業で開発したソフトウェア VirtualTerminal (作業機操作端末)

これらが、他メーカーの ECU や VirtualTerminal、Tractor-ECU と接続して相互運用できるようにする為には、AEF のガイドラインに準拠する必要がある。

そこで、AEF に加入の上ガイドラインを入手し、Minimum Control Function Generation 1、Universal Terminal Generation 1 (Virtual Terminal version 2) のガイドラインに準拠させるため、これらで要求される機能を網羅するよう追加開発を行い、改良を加えた。

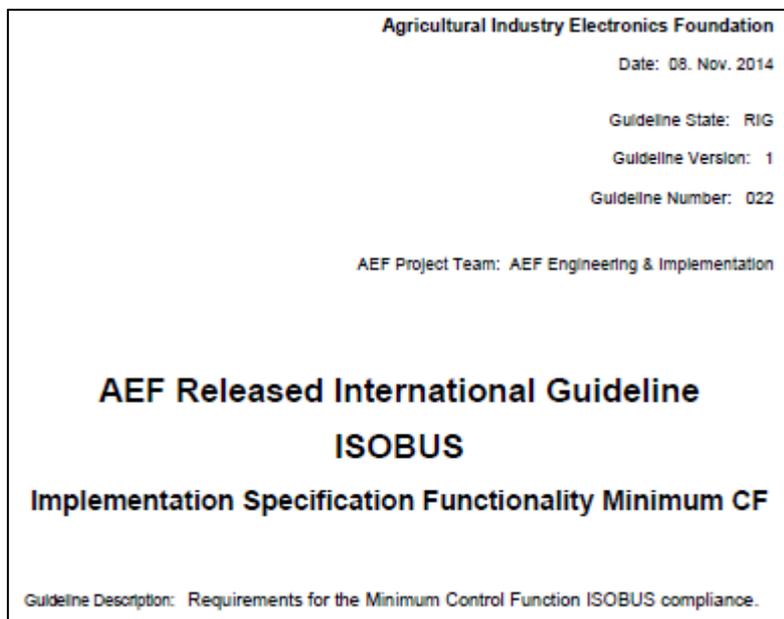


図 2-31 AEF が策定する ISOBUS 互換のためのガイドライン文書の例

(3) 市販 ISOBUS 製品との互換性確保

開発した通信ライブラリ・ソフトウェア VirtualTerminal が実際に AEF のガイドラインに準拠しており、他製品と接続して問題なく使用できるかどうか確認するためには、最低限ガイドライン準拠性のテストを行う必要がある。

AEF ではこの互換性の確認のためのテスト仕様を AEF 会員のために公開しており、さらに世界 5 つの認定機関(日本には存在しない)によりテストを実施し、その結果により相互運用性の確保を保証できるようにしている。

また、年 2 回世界の農機メーカーを集め、相互に機器を接続して運用性確認の実テストをするイベント” plugfest” を企画している。

開発成果物である ISOBUS 通信ライブラリとソフトウェア VirtualTerminal について、AEF 認定のテスト機関の一つである ISOBUS Test Center に於いてテストを受け、ガイドラインからの逸脱を検査しレポートを得た。

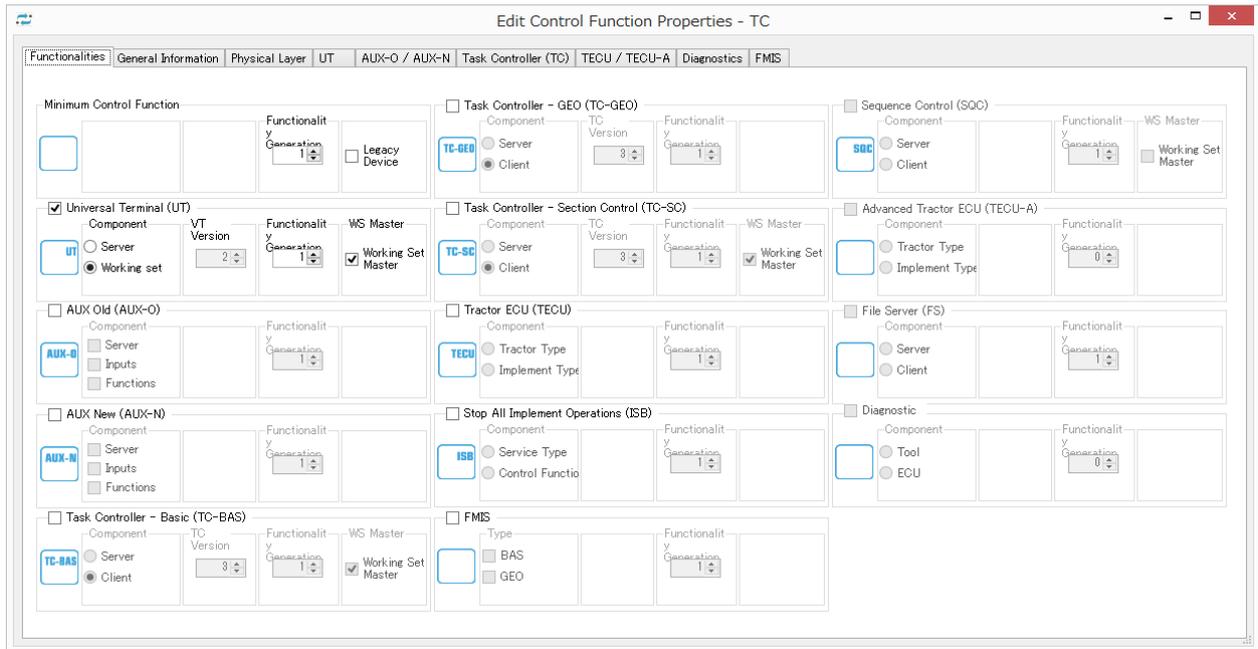


図 2-32 ISOBUS 通信ライブラリのテスト条件設定

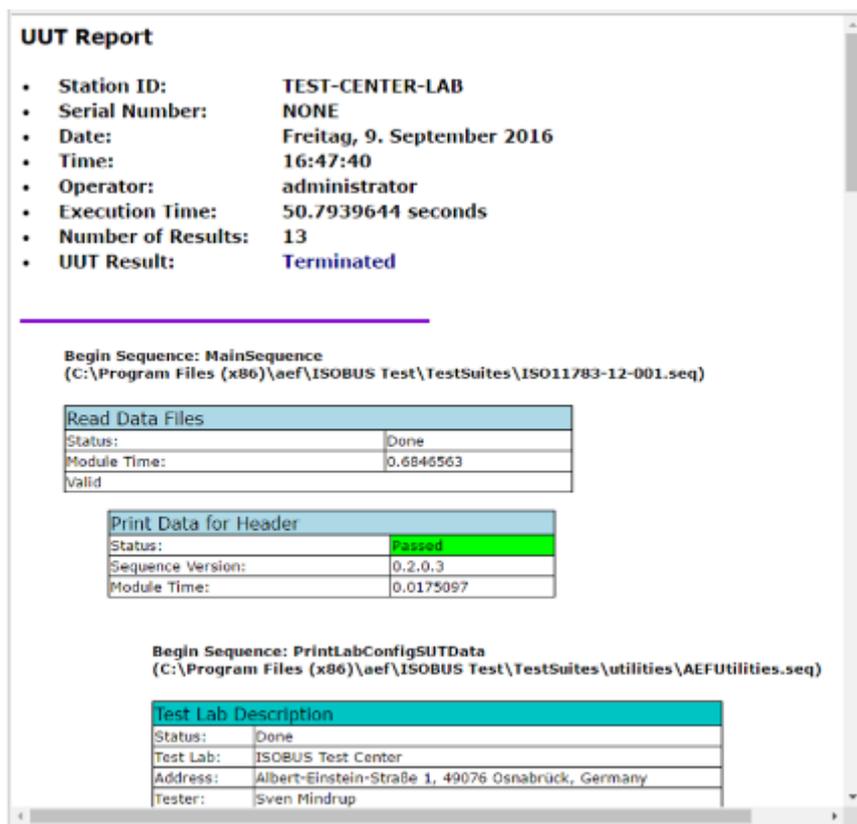


図 2-33 ISOBUS Test Center から得たテストレポートの一例

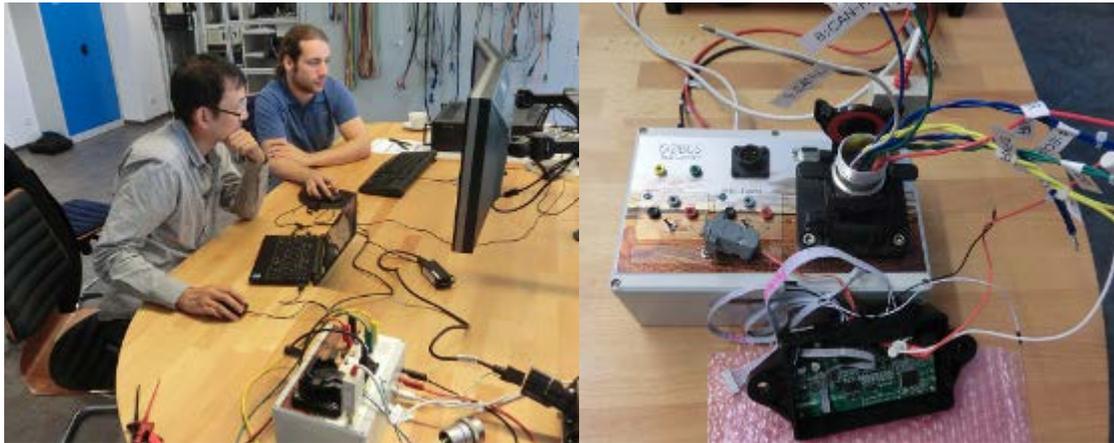


図 2-34 ISOBUS Test Center でのテストの様子と試験機材

また、ISOBUS 通信ライブラリについては、試作アプリケーションを組み込んだ状態で、plugfest に参加し、各社 Virtual Terminal と接続して動作確認を行った。

Station	Company	Equip.	9:00 AM	9:30 AM	10:00 AM	10:30 AM	10:40 AM
1	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
2	ASCO	ASCO Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
3	ASCO	ASCO Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
4	ASCO	ASCO Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
5	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
6	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
7	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
8	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
9	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
10	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
11	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
12	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
13	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
14	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
15	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
16	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
17	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
18	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
19	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
20	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
21	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
22	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
23	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
24	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
25	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
26	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
27	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
28	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
29	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
30	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
31	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
32	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
33	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
34	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
35	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
36	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
37	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
38	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
39	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
40	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
41	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
42	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
43	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
44	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
45	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
46	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
47	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
48	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
49	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
50	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
51	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
52	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
53	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD
54	Asiatic	Asiatic Data Logger	ASD	ASD	ASD	ASD	ASD

図 2-35 plugfest のタイムスケジュールと相互動作試験の様子



図 2-36 各社 VirtualTerminal に表示された当事業開発 ECU の操作画面

ISOBUS Test Center での試験、plugfest では通信手順や一部操作画面定義などに問題が見つかったが、通信ログを記録・持ち帰ることにより、修正を実施することができた。

2-4 サブテーマ②

2-4-1 H26 年度の実施内容

H.26 年度は、機能安全規格 ISO 25119 調査を完了することを目的とする。

【タスクと主担当機関】

- 1) 規格調査：(株)アトリエ、(株)ヴィッツ
- 2) リスクアセスメント、安全コンセプト(システム)：(株)アトリエ、(株)ヴィッツ
- 3) 安全コンセプト(ECU、SWプラットフォーム)：(株)アトリエ、(株)ヴィッツ
- 4) 欧州調査：(株)アトリエ、(株)ヴィッツ

2-4-2 H26 年度の研究内容と成果

(1) 規格調査

【研究実施内容】

ISO 25119 は「農林業用トラクタ、農業で使用する自走式の乗用機械や搭載/半搭載/牽引される機械、地方自治体で使用している機器(例：路面清掃車)に搭載されたハードウェア及びソフトウェア」に適用される。また、ISO 25119 には Part1~Part4 までの 4 つの Part がある為、それぞれについて調査を行った。

<ISO 25119 Part1>

ISO 25119-1 について以下の項目を調査し、理解を深めた。Part1 は設計と開発のための一般原則を定めているものである。

1 章 : Scope

2 章 : Normative reference

3 章 : Terms and definitions

4 章 : Abbreviated terms

5 章 : Management during complete safety life cycle

6 章 : Assessment of functional safety

7 章 : Safety management activities after start of production (SOP)

8 章 : Production and installation of safety-related systems

Annex A : Example of the structure of a project-specific safety plan

<ISO 25119 Part2>

ISO 25119-2 について以下の項目を調査し、理解を深めた。Part2 はコンセプトフェーズについての要求事項を定めている。

1 章~4 章 : Part1 と同様

5 章 : Concept - Unit of observation

6 章 : Risk analysis and method description

7 章 : System design

Annex A : Designated architectures for SRP/CS

Annex B : Simplified method to estimate channel MTTFdC

Annex C : Determination of diagnostic coverage (DC)

Annex D : Estimates for common-cause failure (CCF)

Annex E : Systematic failure

Annex F : Characteristics of safety functions

Annex G : Example of a risk analysis

<ISO 25119 Part3>

ISO 25119-3 について以下の項目を調査し、理解を深めた。Part3 はシステム設計、ハードウェア設計、ソフトウェア設計の要求事項を定めている。

1 章~4 章 : Part1 と同様

5 章 : System design

6 章 : Hardware

7 章 : Software

Annex A : Example of agenda for assessment of functional safety at AgPL =e

Annex B : Independence by software partitioning

<ISO 25119 Part4>

ISO 25119-4 について以下の項目を調査し、理解を深めた。Part4 は構成管理、生産、動作、改造及び支援工程についての要求事項を定めている。

1章~4章 : Part1 と同様

5章 : Configuration management

6章 : Verification and validation

7章 : Product release

8章 : Production, production testing

9章 : Operation planning and maintenance (instructions for operating, servicing, repair, and decommissioning)

10章 : Modifications (change management)

11章 : Procedure for suppliers of SRS, subsystems and components

12章 : Technical documentation

Annex A : Technical documentation checklist

【研究成果】

ISO 25119 について研究メンバが容易に理解できるための資料の作成を完了できた。この資料を元に、研究メンバが ISO 25119 についての理解を深めることができた。そのため、当初の計画通りの研究成果を出すことができた。

(2) リスクアセスメント、安全コンセプト (システム)

【研究実施内容】

ISO 25119-2 の調査結果を踏まえ、リスクアセスメントとシステムレベルの安全コンセプトの検討を行った。

ISO 25119-2 Annex G に記載されているリスクアセスメントの実施例を基に、トラクタ&ブームスプレイヤのリスクアセスメントを以下の手順で実施した。

1. Step1 : Description of the system to be examined

トラクタ&ブームスプレイヤのシステムについて以下を明確にした。

- ・トラクタ&ブームスプレイヤの本来機能とユースケース
- ・基本的なアーキテクチャ
- ・インターフェース

2. Step2 : Listing of surrounding conditions

Step1 で明確にしたトラクタ & ブームスプレイヤの周辺状況について以下を明確にした。

- ・作業モード
- ・作業するときのコマンド
- ・システム外部の周辺状況の定義

3. Step3 : Description of the system

Step1 で明確にしたトラクタ & ブームスプレイヤの内部状況について以下を明確にした。

- ・システムの内部情報の定義

4. Step4 : Listing of system failures

Step1～Step3 で明確にしたトラクタ & ブームスプレイヤの本来機能ごとに機能不全と予見可能な誤使用を検討した。

5. Step5 : Estimation and assessment

Step1～Step4 の結果を基にトラクタ & ブームスプレイヤのアセスメントを実施した。リスクシナリオごとに ISO 25119 で規定されている “S (危害の酷さ)”、“E (暴露率)”、“C (回避可能性)” の3つの観点で評価し、そのリスクシナリオがトラクタ & ブームスプレイヤにとって危険となりえるかの評価を行った。

<リスクアセスメントの実施>

Step2 と Step3 でトラクタ & ブームスプレイヤについての危険となりえる要因を合計で6つに絞り、以下のリスクアセスメントのテンプレートを作成した (下図)。本来機能ごとにリスクアセスメントを実施した。

Conditions						Guide word	Malfunction	Cause	Impact	Risk indicator						AgPL _r
Location	Ride state	Driving condition	Bystanders	Boom state	Spraying situation					S	Cause	E	Cause	C	Cause	
field	ride	stop	have	stored	stop	Omission							
						Commission							
						Early										
						Late										
						Value										
					spraying	Omission										
						Commission										
						:										
					during deployment	stop	Omission									
							:									
:	:	:	:	:	:	:										

図 2-37 リスクアセスメントシートテンプレート

<実施結果>

リスクアセスメントを実施した結果、全体で 3,000 行以上の分析となった。3,000 行以上のリスクシナリオの中でブームスプレイヤにとって危険となりうる判断されたリスクシナリオの抽出を行うことができた。

<安全コンセプト（システム）の検討>

リスクアセスメントの結果より、危険となりえるリスクシナリオに対して安全にするための安全機能を検討した。また、その安全機能要求される AgPL (Agricultural performance level) を決定する。

例えば、「一般道において意図しないブームの展開が起り、傍にいる人に接触する」というリスクシナリオに対して、ブームスプレイヤで実装する安全機能としては「走行場所を確認し、一般道の場合はブームの展開動作は行わない」という機能が導出された。また、上記の安全機能に要求される AgPL は S=1、E=3、C=3 と判断したため、ISO 25119 の AgPL の判定基準により、AgPL=b と決定した。

上記の要領でリスクシナリオから安全機能を導出し、安全要求へと落とし込みを実施した。安全機能の数は 3 つなり、実施した過程を認証機関とのテクニカルミーティングで議論した。

【研究成果】

トラクタ & ブームスプレイヤを対象としたリスクアセスメントの実施を全て完了し、農業機械の全体システムとして必要な安全機能(安全要求)を抽出することができた。また、認証機関とのテクニカルミーティングにおいても、大きな問題は指摘されなかった。そのため、当初の計画通りの研究成果を出すことができた。

(3) 安全コンセプト (ECU、SW プラットフォーム)

【研究実施内容】

3-2-3-(2) で実施したリスクアセスメント、安全コンセプト（システム）での安全機能と安全要求を基にして、機能をブームスプレイヤの ECU レベルへの詳細な検討を実施した。

安全機能で使用しているハードウェアに対してハードウェアの故障モードを洗い出し、故障の対策として必要となる安全維持機能の導出の為に HAZOP を使用して分析した。

以下は本研究で使用した HAZOP のテンプレートである（下図）。

Function			Hazard		Influence					Security measures	Cause		Measure								
Unit	Function group	Function concerned	Guide word	Mode of failure	Influence to a system	Safety goal(1)	Safety goal(2)	Safety goal(3)	Safe/Dangerous	Cause	Comment	Component	Detailed	Standard referring	Prevention	Detection	Detailed	Standard referring	DC	Timing of measure implementation	Movement after broken detection
			NO	Other than																	
Input	Flow sensor		NO																		
			Other than																		
			No																		
			Other than																		
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

図 2-38 HAZOP テンプレート

本研究の主な対象はブームスプレーヤ ECU の為、ブームスプレーヤ ECU について分析を実施した結果、以下の通りになった（下図）。

Function		Safety integrity functions				
Block	Unit	Detection method	Prevention method	Standard referring	DC	Timing of measure implementation
Sprayer ECU スプレーヤ ECU	Processing units 処理ユニット	Logical monitoring of program sequence with Watch-dog. WD付き実行シーケンスモニタ	-	IEC61508 ed2.0 Part2 table A.11 IEC61508 ed2.0 Part7 A.9.4	99%	Runtime
	Invariable memory ranges 不変メモリ	Signature of a double word (16-bit) メモリブロックCRC (16ビット)	-	ISO 25119-2:2010 Annex C Table C.4 — Invariable memory ranges	99%	Runtime
	Variable memory ranges 可変メモリ	RAM test walk-path RAM試験"walk-path"	-	IEC61508 ed2.0 Part2 Table A.6 IEC61508 ed2.0 Part7 A.5.2	90%	Initialization
	Register レジスタ	RAM test walk-path RAM試験"walk-path"	-	IEC61508 ed2.0 Part2 Table A.6 IEC61508 ed2.0 Part7 A.5.2	90%	Initialization
	Communication error 通信エラー	Data integrity assurance	-	IEC61784-3-3 Table 1 Deployed measures to master errors	-	Runtime
		Sequence number	-	IEC61784-3-3 Table 1 Deployed measures to master errors	-	Runtime
		Time exception and feedback message	-	IEC61784-3-3 Table 1 Deployed measures to master errors	-	Runtime
		Connection authentication	-	IEC61784-3-3 Table 1 Deployed measures to master errors	-	Runtime

図 2-39 ブームスプレーヤ ECU の HAZOP 分析例

「Detection method」の詳細を以下のように検討した。

○Logical monitoring of program sequence with Watch-dog

「WD 付き実行シーケンスモニタ」は「実行シーケンスモニタ」と「WD のキャンセル要求の監視」の 2 つの機能で実装される。

○Signature of a double word (16-bit)

メモリブロックに対する CRC 符号を CRC-CCITT により署名として計算して、ビット故障を検出する。CRC 演算はすべての ROM 領域に対して実行する。

○RAM test walk-path

対象のメモリ範囲を 1 つの様なビットパターンで初期化した後、1 ビットずつビットを反転させて残りのビットが正しいことを確認する。上記を全てのメモリ範囲について繰り返すことでメモリセルのクロストークを検出する。

通信データの故障検出に関しては ISO 25119 には記載がないので、安全通信の規格である IEC 61784 を参照して検討を行った。

○Data integrity assurance

- ・CRC を使用することでデータの信頼性を保証する。

○Sequence number

- ・メッセージ送信側が連続した番号をメッセージに付与することにより、メッセージ受信側にてメッセージが正しい順番で来たかを保証する。

○Time exception and feedback message

- ・メッセージ受信側は、メッセージ送信中、2 つの連続するメッセージの受信間隔について、事前に定義した時間を超過するか確認し、時間要件を保証する。

○Connection authentication

- ・メッセージの送信側と受信側は、メッセージに固有の ID を割り当て、認証を行う。

上記の「Detection method」を中心に安全設計を行った。ISO 25119 には記載のない箇所はヴィッツの過去の知見から一般規格である IE C61508 や通信の IEC 61784 を参照することで、ISO 25119 では記載されていない

い「Detection method」の設計を実施した。本安全設計を認証機関と議論して、設計方針については大きな指摘はされなかった。

【研究成果】

ブームスプレイヤ ECU について、ISO 25119 に対応した安全設計の検討を完了した。また、認証機関とのテクニカルミーティングにおいても、大きな問題は指摘されなかった。そのため、当初の計画通りの研究成果を出すことができた。

(4) 欧州調査

【研究実施内容】

国際認証機関であるドイツ TUV SUD と、以下の日程で農業機械の機能安全 ISO 25119 対応に関するテクニカルミーティングを実施した。ミーティングを円滑に進めるため、関連文書を事前に送付し、認証機関に内容を把握していただいた。

国際認証機関日程：

- ・ 事前文書レビュー 2014 年 12 月 22 日～2015 年 1 月 12 日
- ・ テクニカルミーティング 2015 年 1 月 13 日、15 日

<ISO 25119 要求事項の確認>

ISO 25119 の要求事項に関する事前調査結果を踏まえて、要求事項の詳細内容の不明点について解決を行った。研究者（株）ヴィッツ が経験のある制御システムの機能安全 ISO 13849 と、ISO 25119 の違いを中心にディスカッションを行った。

以下の内容について理解を深め、不明点を解消することができた。

- ・ ISO 25119 と ISO 13849 の大きな違い
- ・ リスクアセスメントの評価方法の違い
- ・ カテゴリ B, 1 に関する要求の違い
- ・ ソフトウェア開発に関する要求の違い
- ・ 開発ツールに関する要求事項
- ・ ISO 25119 認証スキーム

<農業機械の安全性評価について>

数多くの企業をサポートした実績のある国際認証機関の立場から、我々の農業機械の安全性評価の方法が正しいかについて、トラクタ & ブームスプレイヤに対するリスクアセスメント結果を元に確認をしていただいた。

以下、結果の要点を記載する。

- ・ リスクアセスメントの実施方法については問題ない。
- ・ リスクアセスメントの評価内容が正しいかは、認証機関は農業機械メーカーではないため、判断できない。リスクアセスメントには、農業機械メーカーも含めて実施するべきである。
- ・ もし目標を最高値(AgPL=e)にするのであれば、リスクアセスメントは省略できる。

<安全設計について>

数多くの企業をサポートした実績のある国際認証機関の立場から、我々の農業機械の安全設計が目標値を達成できるものになっているかについて、検討結果を元に確認をしていただいた。今回、目標値は AgPL=d とした。

以下、結果の要点を記載する。

- ・ 安全分析の実施方法については問題ない。
- ・ 搭載を検討した安全設計について概ね問題ない。但し、詳細までは情報が明確に定義されておらず判断できない。

【研究成果】

国際認証機関 TUV SUD とのテクニカルミーティングを開催し、ISO 25119 に対する理解が正しいこと、現状のリスクアセスメントや安全設計のやり方が正しいことを確認することができた。そのため、当初の計画通りの研究成果を出すことができた。

2-4-1 H27 年度の実施内容

H26 年度の規格知識の把握を受け、具体的な作業機の機能安全対応ノウハウを修得するため、サブテーマ3で開発するアプリケーションの機能安全対応支援を行う。具体的にはアプリケーション全体の安全コンセプトの検討を行い、またそれを通して通信ミドル層、プラットフォーム層に必要な安全機能を抽出する。また検討した安全機能が国際規格準拠の観点から妥当なものであるかどうかの知見を得る為、欧州認証機関からのレビューを受ける。

【タスクと主担当機関】

- 1) プラットフォーム機能安全対応／故障検出機能対応：(株)アトリエ、(株)ヴィッツ
- 2) 安全通信機能対応・検討：(株)アトリエ、(株)ヴィッツ
- 3) アプリケーション開発フレームワーク機能安全対応／アプリケーション安全コンセプト作成：(株)アトリエ、(株)ヴィッツ
- 4) 欧州調査：(株)アトリエ、(株)ヴィッツ

2-4-2 H27年度の研究内容と成果

(1) プラットフォーム機能安全対応／故障検出機能対応

①故障検出機能仕様検討

【研究実施内容】

他の機能安全規格(IEC 6508, ISO 26262, ISO 13849, ISO 25119)のCPU故障検出機能を比較し、AgribusBoradに対してどういった故障検出機能を用いることが有効か?について検討した。

CPU故障検出機能の対象は以下の通り。

- Processing units
- Program sequence monitoring/Clock
- Invariable memory ranges
- Variable memory ranges

上記のHWについてDC(Diagnosis Coverage)がMediumになるように故障検出機能を検討した。また、各故障検出機能の仕様を検討した。

その結果は以下の通り。

- Processing units
 - Self-test by software: limited number of patterns (one channel)
 - Stack over/under flow Detection
- Program sequence monitoring/Clock
 - Logical monitoring of program sequence
- Invariable memory ranges
 - Signature of a double word (16 bit)
- Variable memory ranges
 - RAM test walk-path
 - Double RAM with hardware or software comparison and read/write test

【研究成果】

AgribusBoradに適したDC = mediumのCPU故障検出機能

②故障検出詳細仕様レビュー

【研究実施内容】

①故障検出機能仕様検討で検討した仕様を基に、サブテーマ1にて故障検出機能の詳細仕様を検討した。その詳細仕様について過去の実績を基に仕様の過不足を確認した。

結果として、過不足は見受けられなかった。

【研究成果】

③故障検出設計レビュー

【研究実施内容】

サブテーマ 1 にて作成した故障検出機能の詳細設計書について、以下のレビュー観点を基に詳細設計書が機能安全に適合しているかの確認を実施した。

○レビュー観点

- 品質
 - 文書品質
- 規格 (ISO25119 SRL = 2)
 - 適切な対策を用いて設計書が作成されているか？

○レビュー結果

- 品質
 - 設計上不備な点がある
 - ◇ 1 モジュールが大きすぎて分割ができていない
 - 設計書の対象者が不透明
 - ◇ 必要のない情報が記載されている
- 規格 (ISO25119 SRL = 2)
 - コーディング規約に準拠していない
 - ◇ MISRA-C や社内のコーディング規約に準拠する必要がある

【研究成果】

レビュー済みの仕様書

(2) プラットフォーム機能安全対応／安全通信機能対応

①安全通信レイヤ仕様調査

【研究実施内容】

以下の文献を調査し、ISOBUS の機能安全対応方法についての現状の取組み状況をサーベイした。

- [1] Safety of autonomous agricultural tractor-implement combinations with ISOBUS capabilities, Ari Ronkainen.
 - 概要：本研究では、ISO 11783 が定めるデータ転送バス ISOBUS の安全クリティカル通信における使用について調査する。バスの性質を、制御システムの安全関連規格の観点から、特に規格 EN 50159-2 の観点から調査する。ISOBUS は、高レベルの安全度水準が必要なアプリケーションに対しては利用できないことがわかった。しかしながら、一定の安全関連の改良がなされることで、ISOBUS を使用することができる（可能性がある）。農業用機械のシステムレベルでの定義の欠如から生じる安全関連の問題を特定した。

- 本研究の事例として、ISOBUS class 3 にコンパチブルなシードドリルの安全について調査する。ISO 12100 が述べる安全プロセスを、ISO 14121 が提供するツールとともに、用いた。特定した安全問題の除去について、制御システムの安全に関する規格の観点から調査した。
- [2] AEF Guideline – Functional safety ISOBUS implementation, AEF Project Group Functional Safety.
 - 概要：接続されたインプリメント用の ISO 11783 ネットワークは、クリティカル機能を提供するために使用することができる。このネットワークは、クリティカル機能だけを実行するためにも使えるし、作業機能との組合せまたは作業機能のみを実行するためにも使用することができる。インプリメントのための ISO 11783 ネットワークの使用のすべての条件の下で、与えられたハザード（またはハザードシチュエーション）に伴うリスクを低減することが望ましい。これは、最終的な結果として安全状態を達成できる様々な保護方策を適用することで達成できる。
 - このガイドラインは、ISO 11783 が規定するインプリメント制御機能の安全な動作を設計するための推奨事項を述べる。これらの推奨事項の実装は、ISO 11783 が規定する ISOBUS ネットワークに接続されるインプリメントが、定められた安全動作の要件を満足できることを保証する。
- [3] Guideline for Alignment of ISOBUS Systems with ISO25119, AEF Project Group Functional Safety.
 - 概要：このガイドラインは、AEF 機能安全プロジェクトチームによって開発された。このガイドラインは ISOBUS システムを農業用装置および車両（トラクタ、自己推進農業機械、およびインプリメントなど）へ、どのように統合できるかのオリエンテーションを与え、ISOBUS 機能の運用中にユーザを支援する可能性を立証するものである。
 - このガイドラインは、最大 AgPLr c を伴う ISOBUS システムに ISO 25119 を適用する。このガイドラインは、フェールセーフ状態をもつシステムに適用される。

【研究成果】

文献内容とりまとめ資料

②安全通信レイヤ実装方式検討

【研究実施内容】

フィンランドの LUKE を訪問し、ISOBUS を用いたシステムの安全性の考え方について調査した。LUKE では、トラクタメーカーとの共同研究など豊富な知見を有している。また、農機の機械的強度等をテストする施設や、ISOBUS コンフォーマンス試験の設備を持っている。試験は、筒状のエミュレータなどを用いて実施している。

- ISOBUS 対応状況
 - In Finland, major tractor manufacturers and major implement manufacturers are now able to conduct ISOBUS compliant development.
 - ◇ However, functional safety is not required from the perspective of the use cases

- ISOBUS 上の安全システム (カテゴリ)

- The problem is where a channel starts and where it ends.
 - ◇ Due to the physical constraint of ISOBUS, it is normally possible to have category (up-to) 1.
 - ◇ To have category 2, an isolation is needed for an independent detection. But, manufacturers do not want to put the second channel.
- クラス 3 の安全システムについて：
 - ◇ 複数のデバイスが、接続されていて、それをどうマネージするか。ナイーブにみると、インプット、ロジック、アウトプットがある。インプリメントコントローラを見ると、その入力と出力をみればよい。
 - ◇ しかし、どこからどの入力があるのかということを見ると、それは外からくるかもしれず、それは、出力でも同じことだ。
 - ◇ しかし、ISOBUS のリライアビリティの問題があって、とくに出力は、制限することで、ベつのアイソレーションがないと、カテゴリ 2 にならない。
 - ◇ そこが、ISOBUS では、問題になる。カテゴリ 2 では、独立なデテクションが必要になる。
 - ◇ それは常にアプリケーションスペシフィックなわけだが、インプットが、aux. hydraulic ならば、それに対して ISOBUS から介入する方法はない。
 - ◇ セカンドチャンネルをもうける方法はあるが、そうしているところは少ない。それに他の問題を引きおこすかもしれない。
- ISOBUS 上の安全システム (出力の安全状態)
 - ◇ In ISOBUS standard, it is allowed to send a command to make e.g. a valve to go into a safe state, instead of sending a shut-off command directly.
 - ◇ Also, the standard requires that the valve shall go to a safe state if a command message does not arrive when e.g. the wire is happened to be cut.
- ISOBUS 上の安全システム (AgPLr)
 - ◇ Most of the cases, AgPLr is a or b. Sometimes, AgPLr is c. It is very uncommon that AgPLr is d or e.
 - In the functional safety alignment of ISOBUS by AEF, it is implied that normal ISOBUS without additional measure can achieve up-to AgPL b.
 - To realize AgPL c over ISOBUS, additional measures, e.g. redundant information for comparison, are required.
 - ◇ We should look into the ISB requirement documents.
- LUKE での事例研究
 - ◇ A feasibility study of implementing ISB function over ISOBUS was performed at LUKE with a company.
 - For a seed drilling machine.
 - Safety functions are:
 - Function for confirmation of settings and states
 - ISB function
 - Function for address book keeping (because there may be multiple ISBs).

- Depth control and headland control are non critical functions.
- ISB disables these two automated controls when the ISB button is hit by the operator.
- AgPLr = b with category 1
- ISB-related ISOBUS messages are monitored by ISB client.
- Three failure detection methods are implemented to cover protocol-level communication errors.
- Time-interval monitoring, counters and CRC.

【研究成果】

LUKE 訪問議事録

(3) アプリケーション開発フレームワーク機能安全対応／アプリケーション安全コンセプト作成

①安全コンセプト検討

【研究実施内容】

ブームスプレイヤの安全コンセプトを検討した。サブテーマ1が作成したブームスプレイヤシステムの仕様を基にリスクアセスメントを実施して、どういった安全機能が必要かを議論した。安全機能が決定した後は AgPLr について検討をした。

各機能と AgPLr の対応は以下の通り。

安全機能	機能概要	AgPLr
走行時障害物検出機能	タンク後方から一定距離以内にある障害物を検出し、VT のブザーおよびブームスプレイヤのブザーを鳴らす。	d
ブーム操作安全機能	安全カバーが取り付けられていないとき、ブームの動作を停止する。	d

上記より、走行時障害物検出機能とブーム操作安全機能はともに AgPLr = d という結果になった。これにより、AgPLr の混合がない為、本ブームスプレイヤについては AgPLr = d で検討してく。

上記の安全機能についての実現方法を検討した結果、安全機能の為に各センサが必要になった。各センサの故障を検出する仕組みとしてどういった故障検出機能について検討をした。その結果、各種センサの二重化と ISOBUS の故障検出機能が必要になった。

その仕様を追加して、システムレベルの再設計を実施した。最終的なシステム構成は以下の通り。

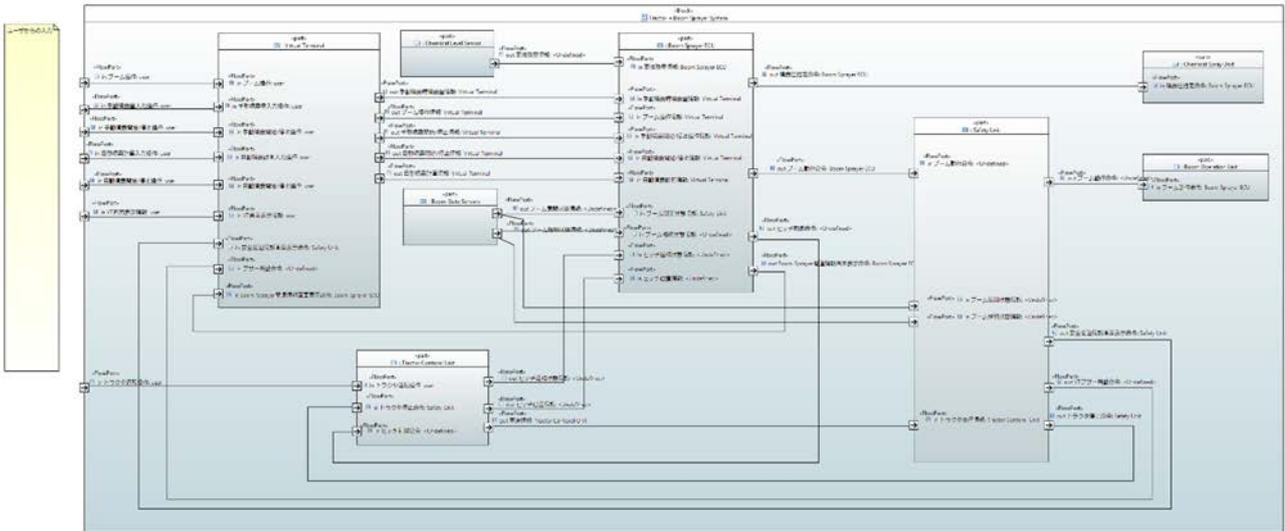


図 2-40 システム構成

上記の図の Safety Unit に対して安全設計を検討し、Safety Unit のアーキテクチャを検討した。

その後、安全機能ごとにアクティビティ図を記載することにより、各機能がどのような制御をするべきなのかをまとめた。以下の図は走行時障害物検出機能のアクティビティ図である。

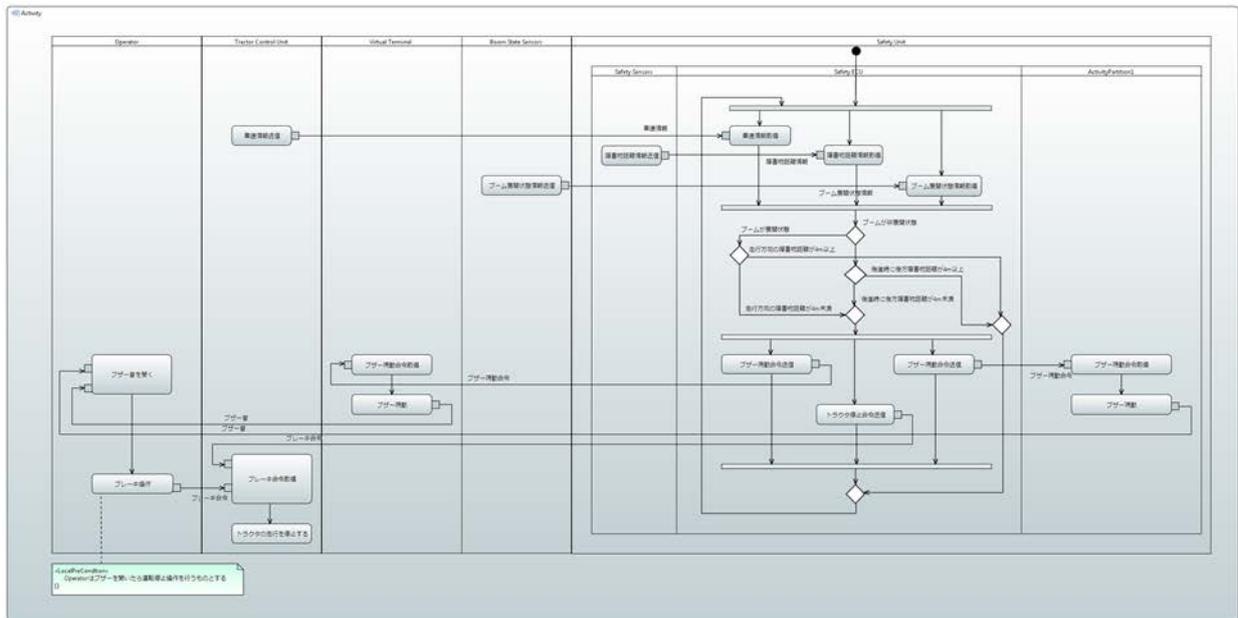


図 2-41 走行時障害物検出機能のアクティビティ図

アクティビティ図を記載することにより、本機能がどのような制御をするかが明確になった。

【研究成果】

安全コンセプトの設計

②設計文書レビュー

【研究実施内容】

①安全コンセプト検討で定めた仕様を基にサブテーマ1で安全コンセプトのドキュメントを作成したので、安全コンセプトのドキュメントに対してレビューを実施した。

主な指摘内容は以下の通り、

- 各章の記載の粒度が統一されていない
- 記載すべき情報が洩れている
 - ISO 25519 での規格要求の記載
 - AgPLr のパラメータである「S」, 「E」, 「C」についての記載
- コンポーネント間のデータ名が重複している
- 正常な動作については記載されているが、異常が起きたときの動作については記載されていない
- アクティビティ図の内容が矛盾している

上記の指摘内容を反映することで、ISO 25119 に対応した安全コンセプト文書の作成をすることができた。

【研究成果】

安全コンセプト文書

③TUV ミーティング対応

【研究実施内容】

ブームスプレイヤを題材に作成した安全コンセプト(上位設計含む)を評価いただいた。

昨年段階では、農業機械の機能安全規格(ISO 25119)で実際に認証評価を受けた機関がなかったが、1年のうちにブームスプレイヤの認証もなされており、リスクアセスメントから設計まで妥当性に関する非常に具体的な指摘を得ることができた。

農業機械の安全度準の常識感が把握でき、ISOBUS 通信との整合性や使い、留意点について理解ができた。

以下の議論の要点をまとめる。

- ブームスプレイヤによる制御：
 - バーチャルターミナル (VT)
 - タスクコントローラ (TC)
 - ◇ ISO 11783-10
 - ◇ 2つの ECU があり、ひとつは安全用である (インプリメント ECU および安全 ECU)
 - トラクタ制御ユニットは、AgPL d (SIL 2) であるべき
 - ◇ しかし、これでは中小製造事業者を支援するというゴールに反する
- 安全機能の定義

- 当初の定義
 - ◇ SF1：安全カバーがギアに取り付けられていない場合、安全機能はブーム動作を停止する。
 - ◇ SF2：操作方向に障害物を検知した場合、安全機能はブーム操作
- TUVの質問
 - ◇ ブームの意図しないオープンが対象になる
 - ◇ オンロード／オフロード
 - オフロードのみ／ホモロゲーションの要件はない
- 検討後の定義
 - ◇ SF1：ブームの開閉時にのみ、人を検知する
 - ◇ SF2：トラクタの移動時に、人を検知する
- 一般に、複数の人や、他の障害物（木や石など）が関わる場合には、リスク／安全レベルは異なるものとなる
- Cat2、AgPL dについての検討
 - Cat2とはどのようなものかについての基本説明
 - ロジックに対して、テスト装置が付加されなければならない
 - テストシーケンスが定義されていない
 - PL cのためには、ISOBUSに安全レイヤを追加する必要がある
 - ISOBUSの残留エラー率の計算を分析しなければならない。その際、エキスパートが必要
 - すべてのエラーが検出される場合にのみ、計算には意味がある
 - ISO 11783はアプリケーション規格である
 - LCDディスプレイは、故障率が簡単には手に入らない
 - $MTTFd = 1 / \text{危険側故障率}$
- SF1の更新版
 - AgPL b、Cat1 or CatB、DC=0。マイコンを使用する場合はCat1、そうでなければCatB
 - ISO 13849-1にカテゴリについてのより詳しい説明があるが、ISO 25119とはDCの定義が異なることに注意
 - DCは、MTTFdとは完全に独立。よりよいコンポーネントを用いればMTTFdは高くすることができる。
 - 危険側故障率の50%アプローチは、一般的なやり方である。ISO 25119-2 B. 2.1 参照 ($MTTFd = 2 \times MTTF$)
 - 人検出には超音波センサを用いる
 - ポジションスイッチ（ブームのポジション）の信号を用いて、異なるモード（長距離／近距離の検出）へスイッチさせる
- MTTFdの計算
 - 10年（例）
 - ◇ ポジションセンサ 60年
 - ◇ ブーム前側距離センサ 40年
 - ◇ ブーム後側距離センサ 40年
 - ◇ ECU（メイン処理） 60年
 - ◇ モータリレー 60年

- SRL は、SIL 2 (IEC 61508-3) のソフトウェア要求事項と同等である。
- SF2 の更新版
 - 安全状態は、トラクタ停止
 - TUV の推奨としては、トラクタ機能を、ブームスプレイヤの安全機能から分離すること
 - まず、ブームスプレイヤが人を検知したら、ISOBUS を介してトラクタにシグナルが送信される
 - 次に、トラクタがシグナルを受信したら、トラクタは停止する
 - ISOBUS は安全バスではない (安全レイヤが必要)
 - 安全機能の定義を新しくする必要がある
- MTTFd 計算
 - 12 年 (例)
 - ◇ ブーム前側距離センサ 40 年
 - ◇ ブーム後側距離センサ 40 年
 - ◇ ECU (メイン処理) 60 年
 - ここまで、SS1
 - ◇ ISOBUS (安全レイヤ付き) 30,000 年
 - ◇ トラクタ ECU 60 年
 - ここまで、SS2
- より高い AgPL の実現方法について (Cat2 / AgPL = d)
 - 下記の構成では、Cat2 は達成できない。なぜなら、テストがセンサエレメントを含んでいないから
 - AgPL = d が必要な場合は、再設計して Cat3 とする必要がある。マスター/スレーブ構成とし、2つのセンサエレメントおよび2つのリレーを用いる

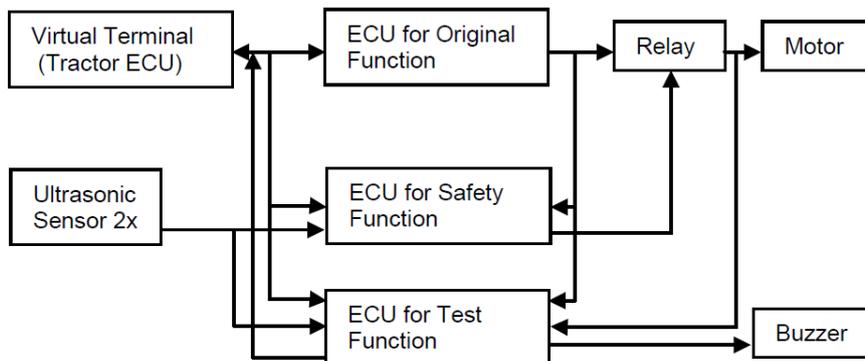


図 2-42 Cat2 を達成できないシステム構成の例

- まとめ
 - リスクアセスメント
 - ◇ リスク推定は、高すぎである
 - ◇ アセスメント例を検討した：
 - ブーム状態検出 : S3, E2, C2 → AgPL = b
 - ブーム停止 : S2, E2, C0 → AgPL = QM
 - ◇ リスクアセスメントは再実施の必要がある

- Cat B/1 アーキテクチャ
 - ◇ 修正したアーキテクチャは、CatB および Cat1 に適用可能である
 - ◇ Cat1 の利点：十分実績のあるコンポーネントを用いることで、アベイラビリティを高くできる（しかしこれは要求ではない）
- Cat 2 アーキテクチャ
 - ◇ テスト装置（TE）については、完全なパスをテストしなければならない（センサーロジック-アクチュエータ）
 - ◇ ISO 25119:2010 A.4 の NOTE 1 に注意せよ
 - NOTE 1 全てのコンポーネントに対する安全機能のチェックが適用できない（例えば、圧カスイッチや温度センサに対して）ために、カテゴリ 2 が適用できない場合がある。
- AgPL d の安全機能
 - ◇ 一般：システムをサブシステムに分割する場合、サブシステム毎にカテゴリが異なってもよい。この場合、全体システムのカテゴリは、考えられない
 - ◇ 一方のサブシステムがトラクタ側にあり、他方のサブシステムがブームスプレイヤ側にあるかもしれない
 - ◇ 各サブシステムの AgPL は、少なくとも d でなければならない
 - ◇ 規定のアーキテクチャ（ISO 25119 による）を適用することができない場合（例えば、サブシステムに対して異なるアーキテクチャを用いる場合）、各サブシステムの FMEDA を利用して最終的な PFH を計算することができる（ISO 13849 Annex K が参考になるだろう）

【研究成果】

- ・ TUV 向け説明資料
- ・ TUV ミーティングレポート

④形式手法適用検討

【研究実施内容】

形式手法によるシステム安全立証技術についての適用方法を検討した。そのため、仏 ClearSy 社による鉄道保安装置（CBTC; Communication-Based Train Control）への適用事例の内容を調査した。

- “New York Metro Flushing line System level formal verification “, 2013.
 - CBTC の安全性検証
 - 「衝突、脱線、速度超過がないこと」
- 証明の目標
 - 顧客によって読みやすく理解しやすいこと
 - 再利用性があること
 - システムの安全性が依存する前提条件を明らかにする
- 利点
 - 通常の場合、システム安全は以下による：
 - ◇ セーフティアセッサがポジティブに評価する
 - ◇ サプライヤが類似システムの実績を有する
 - ◇ セーフティケースが承認される

- システムレベルの安全証明は以下を付加する：
 - ◇ アクシデントがおきないことを立証できる
 - ◇ 誰もが証明のステップを確認できる
 - ◇ 前提条件の妥当性には議論の余地があるかもしれないが、そこからの論理的帰結は疑義の余地がない
- ISOBUS 連結システムとしての、トラクター作業機への適用の課題
 - 安全機能の責任分解
 - B メソッドによる通常のソフトウェアモデリングと、安全立証のためのモデリングの違いについて

【研究成果】

形式手法による安全性立証技術まとめ資料

(4) アプリケーション開発フレームワーク機能安全対応／フレームワーク安全コンセプト作成

①リーズナブルな安全設計検討

【研究実施内容】

農業機械に適したリーズナブルな安全設計を確立するため、以下の研究を実施した。

- ・ フレームワークが対応すべき AgPL の検討
- ・ 認証機関 TUV SUD との技術ミーティング
- ・ リーズナブルな安全設計のまとめ

<フレームワークが対応すべき AgPL の検討>

フレームワークは、汎用的にさまざまな農業機械での使用を考えている。そのため、想定される最高の AgPL で開発が必要と考えた。

想定される最高の AgPL について、いくつかの視点で検討を行った。

a) ISO25119 の視点

規格に記載があるため、AgPL=e が必要ではないか？

b) 2014 年度のリスクアセスメント結果より

2014 年度の研究では、ブームスプレイヤに対するリスクアセスメントを実施した。その結果では、AgPL=d が最高だった。

c) 他の産業機械の相場観

他の産業機械で適用されている機能安全規格 ISO13849 の実績では、PL=d が非常に多い。最近では PL=e と判断される製品も登場してきている。

上記を踏まえると、AgPL=d か AgPL=e を想定すべきと考えられる。もし AgPL=e とした場合、殆どの農業機械にてオーバースペックとなり、コストが見合わなくなる可能性が高い。そこで、b) および c) を重視し、最も使われるだろう対象に絞り、AgPL=d を目指すこととした。

<国際認証機関との技術ミーティング>

国際認証機関 TUV SUD との技術ミーティングに向けて、ブームスプレイヤで AgPL=d を想定した際の安全コンセプト文書を事前に作成した。

これを踏まえて技術ミーティングを実施した結果、現時点における農業機械の AgPL の相場観は、AgPL=b が一般的であり、AgPL=c が最高であろうと判断できた。

以下に、認証機関との技術ミーティングにより、改訂したリスクアセスメント結果の例を示す。これは、欧州における標準的な判断基準である。日本における判断基準が非常に厳しすぎることを知ることができた。

例 1) ハザードスイベント：ブームの可動範囲内の人に気づかずブームを操作し、ブームが人に衝突する。

評価指標	我々の検討結果	認証機関の見解と理由	
S (危害の酷さ)	S3	S2	ブームが当たったくらいで死ぬことはないだろう。
E (暴露率)	E3	E2	ブームスプレイヤは年中使うものではない。頻度は多くない。
C (回避性)	C3	C0	圃場には農家（専門家）しかおらず、しかもブームの稼働速度は遅いため、十分に回避可能。
AgPL	D	QM	

例 2) ハザードスイベント：トラクタ後方の人に気づかず後進し、人を轢いてしまう。

評価指標	我々の検討結果	認証機関の見解と理由	
S (危害の酷さ)	S3	S3	通常は S2。常にワーストケースを考える必要は無い。現実的に考えればよい。今回、日本国内において年間 5 名の死亡事故の例があるので、厳しく判断すると S3 になる。
E (暴露率)	E3	E2	ブームスプレイヤは年中使うものではない。頻度は多くない。
C (回避性)	C3	C2	走行速度は遅いため、回避可能性あり。
AgPL	D	B	安全機能として、障害物を検知し走行停止する機能を搭載。

認証機関との技術ミーティングでは、ISO25119の要求事項に対する詳細な解釈についても教授いただくことができた。

<リーズナブルな安全設計のまとめ>

国際認証機関との技術ミーティングで得た知見を踏まえて、リーズナブルな安全設計の考え方を整理した資料を作成した。

【研究成果】

リーズナブルな安全設計の考え方資料（欧州の判断基準を含む）

②機械間連携の安全課題検討

【研究実施内容】

フィンランドのLUKEを訪問し、ISOBUSを用いた機器間連携システムにおける安全の課題について調査した。

- 安全コンセプト（人検知・停止による安全機能について）
 - When a safety function requires the tractor to stop according to the stop message (zero speed message) from the implement, the tractor shall have the cruise control mode.
 - ◇ Be aware that even for a tractor of Class 3, the cruise control function is not mandatory.
 - ◇ Be aware that the cruise control function could be overridden. Thus an automated stopping function could be a problem. You have to talk with the tractor manufacturer.
 - ◇ Instead, an alarm function to inform the operator could be enough.
 - An automated stopping function for the tractor is not required at this moment.
 - ◇ Because, normally, the operator does move the tractor forward and backward.
 - ◇ Now it is only a research topic.
 - ◇ If such a stopping function is realized, a philosophical question comes next. What is the responsibility of operator and what is the responsibility of automated function.
- トラクタとインプリメントの連携について
 - There has been a long history for the standardization to connect the tractor and the implement.
 - ◇ ISOBUS is part of the history, but not from the view point of safety.
 - If the safety function is separated between the implement and tractor, the next problem is if they match.
 - ◇ ISOBUS performance test should be conducted (personal opinion)
 - ◇ The implement has to confirm that the tractor does meet the assumed safety requirements. If it can not be confirmed, the automated control functions shall not be enabled.
 - It is important that the operator's actions and the automated operations shall match. If it is confirmed, then safety functions can be reduced.

- ◇ The confidence level of such a confirmation should vary depending on AgPLr. For AgPLr a, most of the tractors are trusted. But for AgPLr b, confirmation should be performed.
- ◇ Digital signature can be a method for such a confirmation.
 - Its original intention is to prevent a fraud by an untrustworthy manufacturer

【研究成果】

LUKE 訪問議事録

③セミフォーマル記法活用検討

【研究実施内容】

ISO25119 で要求されているセミフォーマル記法について、効率的な活用方法を確立するため、以下の研究を実施した。

- ・各種セミフォーマル記法の関係性の検討
- ・セミフォーマル記法の試行
- ・セミフォーマル記法ガイドラインの作成

<各種セミフォーマル記法の関係性の検討>

まず、ISO25119 で要求されているセミフォーマル記法として、何を描かなければならないかを整理した。

ベースとなる IEC61508 によると、以下のようにさまざまな視点で図を描き、検証することが求められている。

IEC61508-3 Table B.7 – Semi-formal methods

(Referenced by Tables A.1, A.2 and A.4)

	Technique/Measure *	Ref	SIL 1	SIL 2	SIL 3	SIL 4
1	Logic/function block diagrams 構造、I/F	See Note 1	R	R	HR	HR
2	Sequence diagrams 振る舞い (シーケンス)	see Note 1	R	R	HR	HR
3	Data flow diagrams	C.2.2	R	R	R	R
4a	Finite state machines/state transition diagrams 状態	B.2.3.2	R	R	HR	HR
4b	Time Petri nets	B.2.3.3	R	R	HR	HR
5	Entity-relationship-attribute data models	B.2.4.4	R	R	R	R
6	Message sequence charts	C.2.14	R	R	R	R
7	Decision/truth tables 条件	C.6.1	R	R	HR	HR
8	UML	C.3.12	R	R	R	R

図 2-43 IEC 61508-3 で適用が推奨されるセミフォーマル記法の一覧表

一方で、一般的なエンジニアがよく描いている図について、設計観点と記述順序を整理すると、次のようなプロセスが適切だろうと考えることができる。

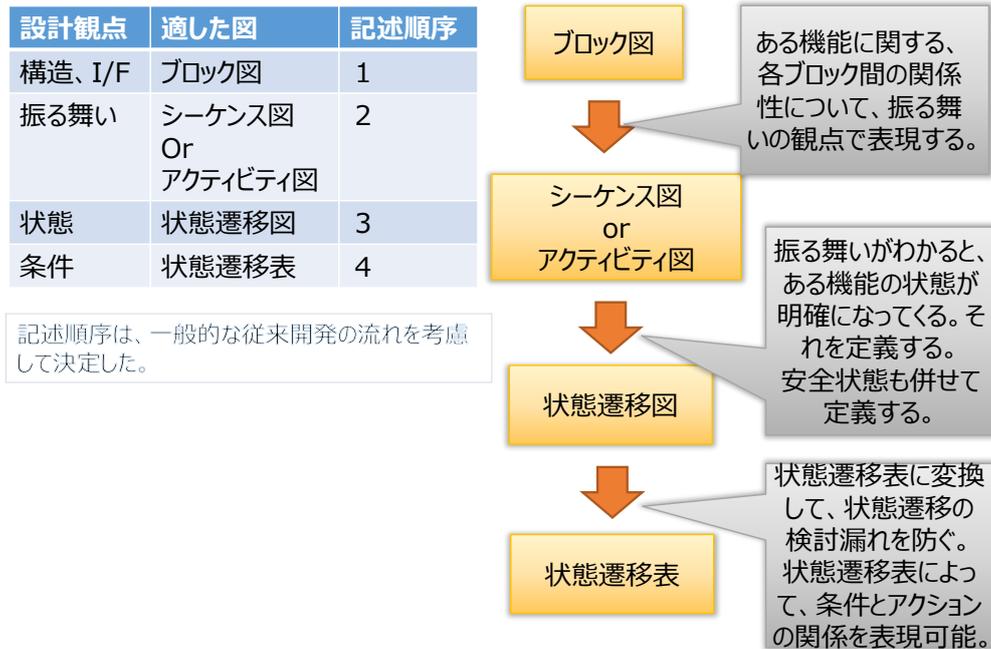


図 2-44 設計図の作成手順

<セミフォーマル記法の試行>

上記の整理したプロセスを踏まえて、安全コンセプト文書の作成において、セミフォーマル記法の試行を実施した。

<セミフォーマル記法ガイドラインの作成>

試行した経験を踏まえて、エンジニアが運用しやすいガイドラインの作成を行った。

各図と図の間には、連携すべき情報が存在するが、今までの検討では不明確であり、エンジニアが描画する際に難易度が高かった。試行した経験を踏まえると、以下の点がポイントである。

- ・ユースケース図⇒シーケンス図：ユースケース毎にシーケンスを定義する。
- ・ブロック図⇒シーケンス図：ブロック図で示したブロックを、シーケンス図のアクターとする。
- ・シーケンス図⇒状態遷移図：アクター毎に、アクターの状態遷移を描画する。
- ・詳細化：ブロック図の詳細化に伴い、シーケンス図の詳細化を行う。それに伴い、詳細化されたアクターの状態遷移図を作成できる。

これらを踏まえると、描画プロセスは以下のように整理できる。

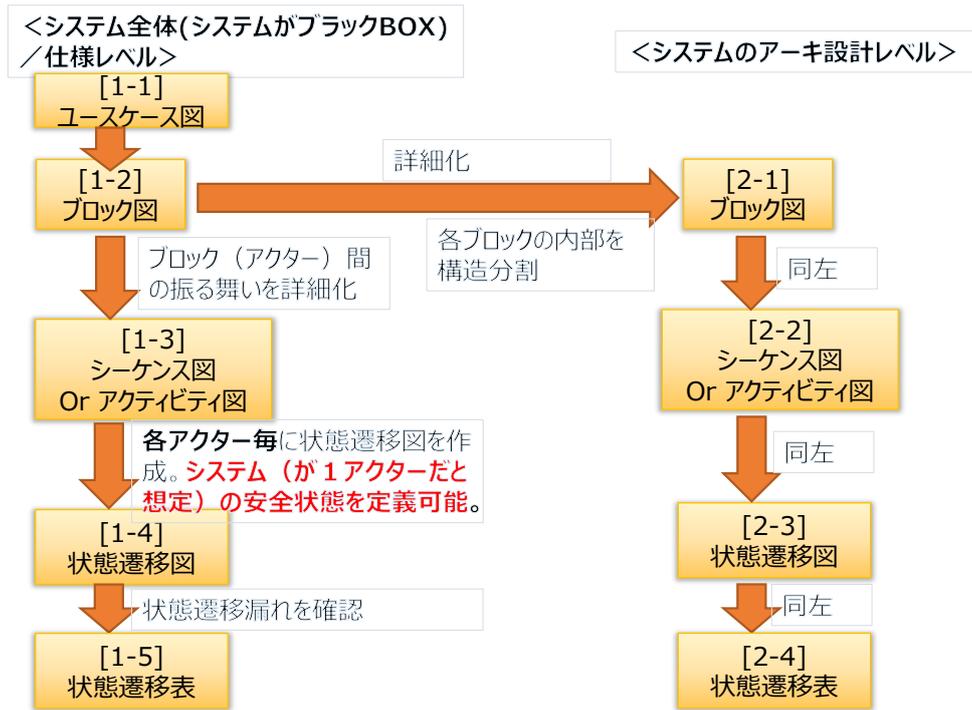


図 2-45 設計図の描画プロセスのまとめ

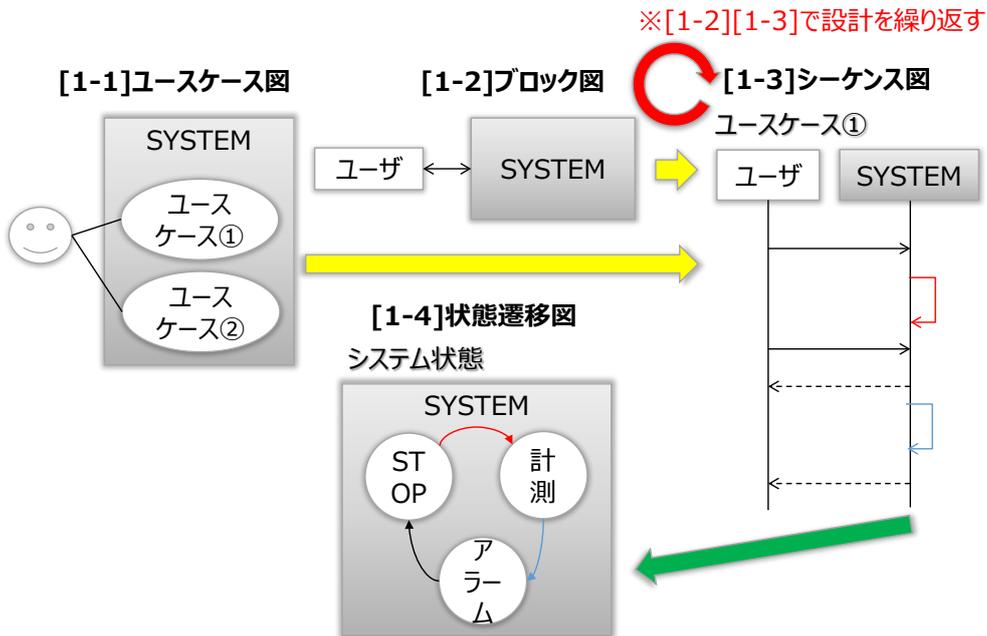


図 2-46 ユースケースから状態遷移設計を導出する手順

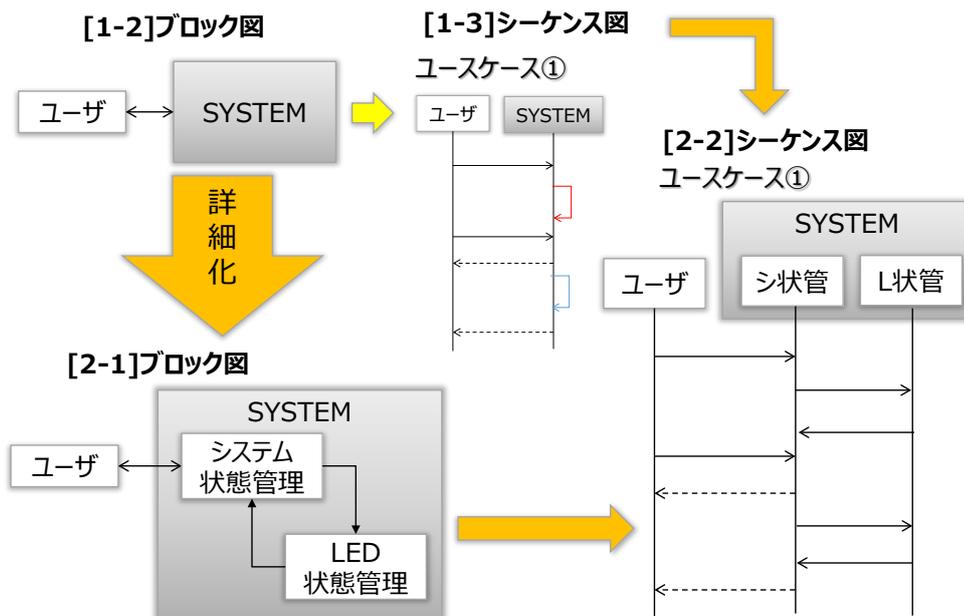


図 2-47 ブロック図・シーケンス図の詳細化

状態遷移設計については、シーケンス図から状態遷移図を生成する手法を調査することができた。それ以外の手法については、未調査である。

【研究成果】

- ・セミフォーマル記法ガイドライン

2-4-1 H28 年度の実施内容

【タスクと主担当機関】

- 1) 事業化に向けた機能安全対応の効率化・汎用化検討：(株)アトリエ、(株)ヴィッツ
- 2) フレームワーク化：(株)アトリエ、(株)ヴィッツ

2-4-2 H28 年度の研究内容と成果

- 1) 事業化に向けた機能安全対応の効率化・汎用化検討

ISO25119 で要求されているセミフォーマル記法 (UML, SysML など) について、中小企業 (例えば、北海道の農業機械メーカーを想定) が、安価に機能安全 (ISO 25119) 開発を実施できるよう、準形式記述を取り込んだ設計を効率的に実施できるようにするため、機能安全の周辺技術に対するセミフォーマル記法との関連調査を実施した。

H27年度の研究として開発したガイドラインは、機能安全（ISO 25119）要求のみを考慮したものであるが、周辺技術も考慮されていないと実用には難しい、という課題が挙げられた。そのため、以下の周辺技術についてセミフォーマル記法との対応を整理した。

周辺技術	周辺技術詳細	ユースケース 図	要求図/フィー チャー図	ブロック 図	データフロー 図	オブジェクト or アクティビティ 図	状態遷移 図	状態遷移表/決 定表	タイミング チャート/タスク 遷移図	GSN/D-Base	トレーサビリティ 管理	変更管理
1.1. 要求抽出	ステークホルダ(システムの利害関係者:経営者、製造者、ユーザ、運用者など)、文書、業務知識(ドメイン知識)市場調査などからシステム要求を見つける。インタビュー、シナリオ分析、プロトタイプリング、打合せ、ユーザ行動の観察などの手法を用いる。	○ シナリオ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.2. 要求分析と新案	要求分析では、異なるステークホルダから抽出した要求間の整合を解決し、システム化の範囲を明確化する。このため要求分析では、適切なモデルを用いて要求の構成要素間の関係を理解する。このような要求のモデルには、データフロー、制御フロー、イベント、ユーザインタフェース、オブジェクトなどがある。	-	○ 要求の明確化	○ オブジェクト ・インタフェース (ユーザインタ フェース含む)	○ データフロー (シナリオとデー タフローの関係を 示す)	○ 制御フロー	○ イベント	○ イベント ・条件	○ 時間、タイミング	-	-	-
1.3. 要求の仕様化	各家された要求についてすべてのステークホルダが理解できるように文書化する。したがって対象業務の用語を用いて記述する必要がある。また開発者が設計や製造で参照できるように定式化されたモデルで要求を適切な詳細さで文書化することも必要である。	-	-	-	○ 1.2で図表を記載することで、同時に対応可	-	-	-	-	-	-	-
1.4. 要求の妥当性の確	要求の一貫性と完全性をソフトウェアの設計や製造を始める前に検証しておく必要がある。要求仕様書のレビュー、プロトタイプ、モデルを用いた	-	-	-	○ レビューの場合、1.4.4.1.1の仕様を用いた検証する必要がある。同時設計可	-	-	-	○ 検証しやすい回 があった方がし	-	-	-

図 2-48 整理した周辺技術とセミフォーマル記法との対応関係の例

2) フレームワーク化

機能安全の周辺技術に対するセミフォーマル記法との関連調査の結果を踏まえ、必要な図の作成について最適なワークフローに整理した結果が以下である。開発工程毎に、作図必要なモデル、モデルから別のモデルへのデータ流用の流れを整理し、各工程でのモデル化の知見をまとめたガイドを整備した。

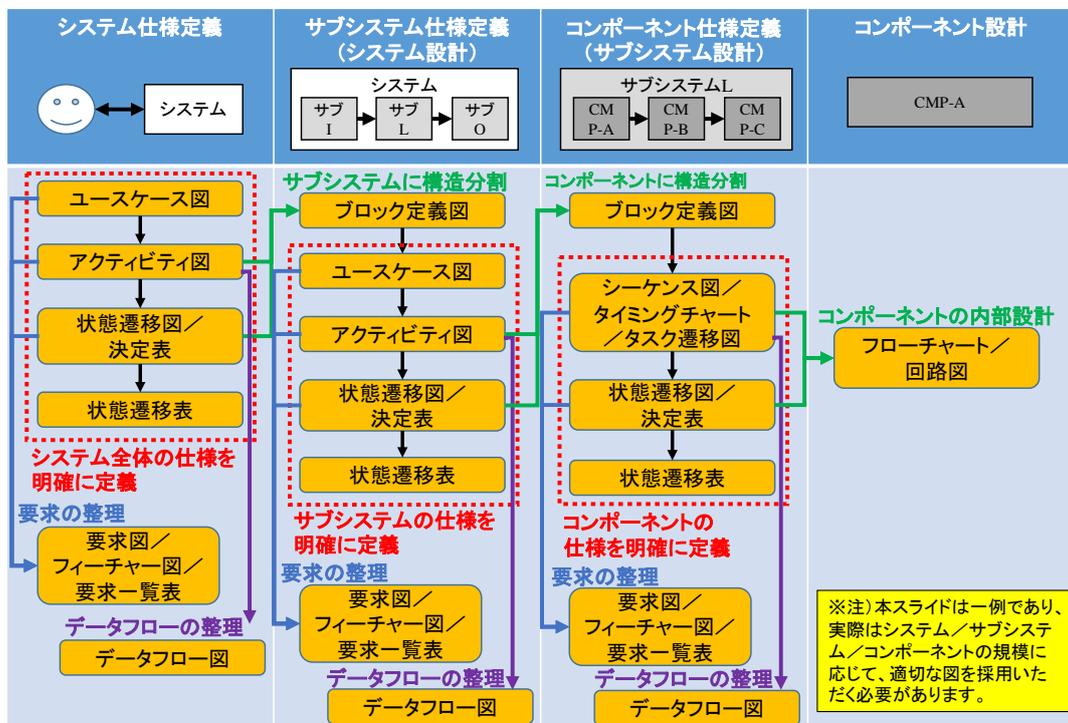


図 2-49 各開発工程で作成必要なモデルとデータ流用の流れ

さらに、上記を周辺技術と連携させることにより、機能安全対応を効率化するためのフレームワークを考案した。

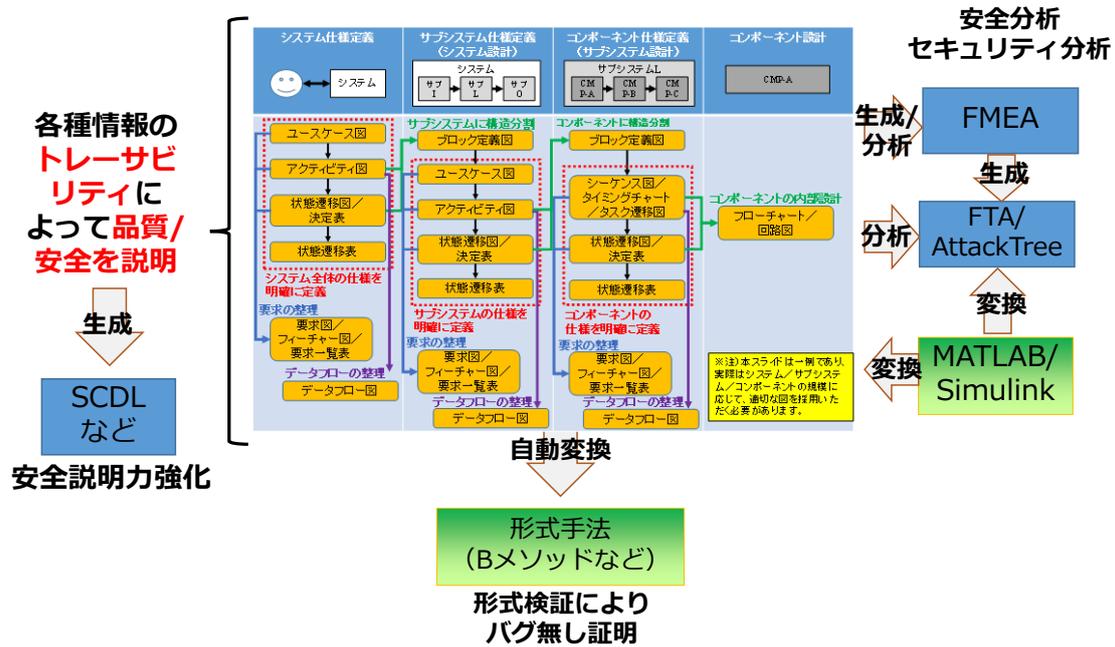


図 2-50 機能安全対応を効率化するための周辺技術との連携を用いたフレームワーク

2-5 サブテーマ③

2-5-1 H26 年度の実施内容

H.26 年度は、26 年度では、上記の 1. のフレームワークツール、および実証用アプリケーションの仕様を検討する。

【タスクと主担当機関】

- 1) アプリケーションフレームワーク仕様検討：株式会社アーク・システム・ソリューションズ
- 2) 実証用アプリケーション仕様検討：北海道大学

【想定開発成果】

- 1) アプリケーション開発フレームワーク仕様
- 2) 実証用アプリケーション仕様

2-5-2 H26 年度の研究内容と成果

(1) アプリケーションフレームワーク仕様検討

【研究実施内容】

以下のタスクを実施した。

- 1) ISO 11783 / ISOBUS 規格調査

- 2) ISO 25119 規格調査
- 3) ISOBUS ミドルウェア調査
- 4) 精密農業機能調査
- 5) アプリケーション開発フレームワーク検討

【研究成果】

(1) ISO 11783 / ISOBUS 規格調査

農業機械は、「トラクタ」とトラクタに取り付けて作業する「作業機」に大きく分類される。作業機の動力源でもあるトラクタは、生産の過程で様々な作業機を取り付けて作業を行うものである。従来、トラクタに作業機を取り付けるには、トラクタと作業機間の通信のためにそれら専用ケーブルや操作端末を取り付ける必要があった。そのため、作業機ごとの専用ケーブルや操作端末をトラクタ内に取り付けることになり、また、操作についても統一感の無いものであった。こういった問題を解決すべく、欧米では1980年代中盤から標準化が進められた。

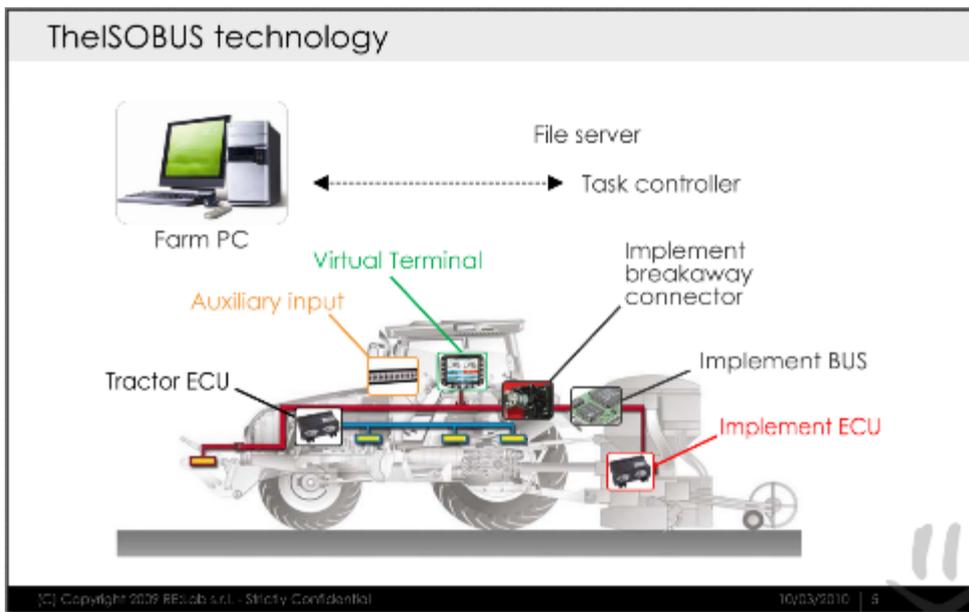
ISO 11783 (通称 ISOBUS) は、SAE J1939 規格を基にした農業向けの通信プロトコルを規定した国際標準である。なお、ISOBUS は業界団体 AEF : Agricultural Industry Electronics Foundation が ISO 11783 を元に規定した業界標準の名称である。

この規格では農業機械の制御や作業機間通信のための仕様が定められており、全 14 パートで構成されている。

ISO 11783 Tractors and machinery for agriculture and forestry

- ・ Part 1: General standard for mobile data communication
- ・ Part 2: Physical layer
- ・ Part 3: Data link layer
- ・ Part 4: Network layer
- ・ Part 5: Network management
- ・ Part 6: Virtual terminal
- ・ Part 7: Implement messages applications layer,
- ・ Part 8: Power train messages
- ・ Part 9: Tractor ECU
- ・ Part 10: Task controller and management information system data interchange
- ・ Part 11: Mobile data element dictionary
- ・ Part 12: Diagnostic
- ・ Part 13: File Server.
- ・ Part 14: Sequence control

以下の 図 2-51、図 2-52、図 2-53 に ISOBUS の内容を紹介する。



引用元：RE:Lab 社 “Introduction to the ISOBUS Technology”

http://www.isobus.it/sites/default/files/doc/ISOBUS_INTRO_100_english.pdf

図 2-51 ISOBUS 構成

図 2-51 は、ISOBUS の構成を示している。トラクタと作業機間の通信には、自動車やロボット分野でも広く利用されている CAN (Control Area Network) を基盤としたネットワークが構成されている (図中の赤線部分)。この CAN ネットワーク上に、トラクタと作業機それぞれの制御マイクロコントローラ (ECU: Engine Control Unit) や操作端末 (VT: Virtual Terminal) などが接続されている。また、VT には、管理 PC (図中では Farm PC) と連携したタスクコントローラ (TC: Task Controller) を搭載した機種も存在する。

The Virtual Terminal (VT)

- » The VT, installed in the cabin, is the device that allows the operator to interact with the ECU connected to the ISOBUS network. It is controlled by an ECU connected to this bus.
- » It consists of a **monitor** for displaying information and some **input devices** (buttons, dials, touch screen, ...).
- » It has the main task of presenting the information it receives from the ECU connected to the tool bus and to transmit to them the commands of the operator, without performing any processing: it is purely an **visualization device**.

Copyright 2009 RE:Lab s.r.l. - Strictly Confidential | 10

引用元 : RE:Lab 社 “Introduction to the ISOBUS Technology”

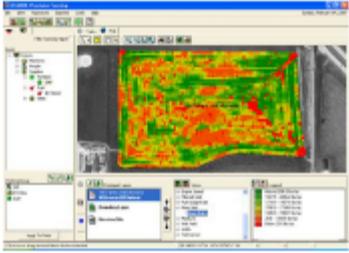
http://www.isobus.it/sites/default/files/doc/ISOBUS_INTRO_100_english.pdf

図 2-52 Virtual Terminal (VT)

図 2-52 は、VT の概要を示している。VT はトラクタ社内に設置する端末である。作業機の状態表示やボタンやタッチスクリーンによる作業機操作を提供する。ISOBUS に準拠した作業機を一元的に取り扱うことができるものである。

Automation - Task Controller e Sequence Controller

- » Task Controller
 - » It is capable of providing commands to the implements, modifying their behaviour in accordance to their position (measured by GPS) or according to a **time schedule**.
 - » Programming is done via a PC (**Farm Management System**) and later, the configuration files should be transmitted to a Task Controller, installed on the tractor
- » Sequence Controller
 - » Like the Task Controller, it is capable of issuing commands to the implements and to the tractor.
 - » It permits the registration and further reproduction of the actions involving the tractor control and one or more implements.
 - » It permits to the operator to skip the repetition of a series of difficult operations.



(C) Copyright 2009 RE:Lab s.r.l. - Strictly Confidential 10/03/2010 | 14

引用元 : RE:Lab 社 “Introduction to the ISOBUS Technology”

http://www.isobus.it/sites/default/files/doc/ISOBUS_INTRO_100_english.pdf

図 2-53 Task Controller (TC)

図 2-53 は、タスクコントローラ (TC) について示している。TC は、農業機械の自動制御に関する装置である。一般の PC 上で、例えば、農場地図に基づいた走行経路や作業機の動作を事前に計画する。その計画を TC に送り、TC はその計画に従い GPS などを利用し、実際にトラクタや作業機を制御するものである。ISOBUS が広く普及するにつれて、こういった機能は農作業全体の高度化・効率化に大いに効果があるものである。

このように規格では、農業機械のハードウェア仕様や通信仕様だけではなく、アプリケーション仕様なども含めた広い範囲について仕様が定められている。そのため、本研究で開発するアプリケーション開発フレームワークがこの規格の全てを独自に実装するのは困難と考えた。特に通信仕様部分など共通的な中間層については、既にオープンソース等でミドルウェアも存在する。本研究では、より上位のアプリケーション層の開発に着目することとし、このような既存のミドルウェアも活用しつつ研究コストの低減を図ることとした。

次に、アプリケーション層の開発を検討する上で最も重要なアプリケーション仕様について重点的に調査を継続した。

この規格では、農林業だけではなく商用車や建設機など他の分野も対象としている。それぞれの分野ごとに「装置」が定義されている。農林業では、トラクタ、耕運機、播種機、施肥機、散布機、収穫機、飼料用機械、灌漑用機械、運搬装置などが定義されている。

さらにその装置ごとに、装置が持つ「機能」が定義されている。

図 2-54 は規格書 Part 1 付録に記載の装置とその機能の抜粋である。

Value	Industry Group	Value	Device Class	Value	Function	Description
2	Agriculture and Forestry Equipment					
		6	Sprayers			
				0-127	See Annex F	Equipment for crop protection Industry non-specific
				128	Spray Rate Control	Control of the rate of crop protection product applied to a crop or on the soil
				129	Section On/Off Control	On/ Off control of individual sections
				130	Product Pressure	Monitoring of the pressure of the product in the delivery booms
				131	Position Control	Multiple axis control of an application boom in the x & y coordinates which can be used for row guidance. Z coordinate control is achieved by depth/ height control.
				132	Sprayers Machine Control	Control of outputs including adjustment of any ancillary functions like position and/or rotation speed. For VT or TC control, this function combines several control functions that communicate from the same SA.
				133	Product Flow	Measuring function to monitor the current product flow
				134	Product Level	Measuring function to monitor the current product level in the tank
				135	Boom Height Control	Control of the height of the boom above the surface of the soil or above the height of the standing crop
				136	Frame Control	Control of the folding and unfolding of the frame of the device. Control used to change between transport and field operation position. Not to be used for field operations.
				137-254	Reserved for Future Assignment	
				255	Not Available	This assignment can be used until an explicit function has been assigned.

図 2-54 ISO 11783 Part 1 機能一覧

この例では、作業機の一つであるスプレーヤー（農薬散布機）が持つ機能として、散布レート制御、散布位置制御などが定義されていることがわかる。このように規格では、機能の概要が説明されているだけであり、具体的にどのように制御ソフトウェアを設計するかは実際の開発者が行うものである。

また、規格ではトラクタと作業機間の通信メッセージが定義されている。これは、時間、速度、距離、PTO(エンジン動力を取り出す機構)など、通信する情報の最小の単位がパラメータとして定義され、それら複数のパラメータで構成されるパラメータグループが通信メッセージとして定義されている。

図 2-55 はパラメータ定義について規格書 Part 7 からの抜粋である。

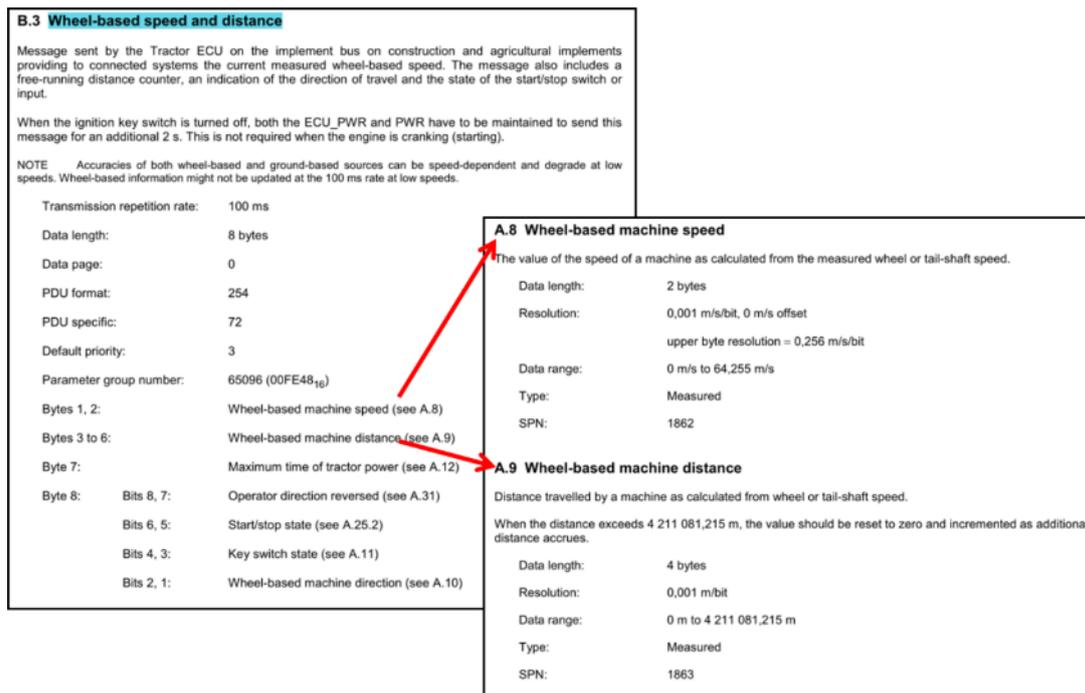


図 2-55 ISO 11783 Part 7 パラメータ定義

この例では、速度を表す A.8 Wheel-based machine speed と距離を表す A.9 Wheel-based machine distance という 2 つのパラメータから構成される B.3 Wheel-based speed and distance というパラメータグループが定義されていることがわかる。パラメータグループやそれを構成する各パラメータには、通信応答レート、データ長や識別のための情報などが詳細に定義されている。このパラメータやパラメータグループによる通信メッセージを組み合わせることで前述の「機能」を実現する制御ソフトウェアを設計することになる。

本研究で開発するアプリケーション開発フレームワークでは、この「機能」の実装を提供することとした。スプレーヤー（農薬散布機）を例にすると、実際のスプレーヤー開発では、そのハードウェア仕様は当然機種ごとに異なるものではある。しかし、規格が定義する「機能」の観点では、トラクタと作業機間の通信メッセージ内容には大きな差は無いと考えた。つまり、実際のハードウェア仕様の差を除く共通的な部分を規格準拠で事前に用意し、実際の作業機開発の場合はハードウェアに依存する部分だけを追加で実装することで ISO 11783 対応アプリケーションを比較的容易にかつ低コストで実現できるものを目指す。この、いわば「ISO 11783 作業機制御ソフトウェア開発ライブラリ」をアプリケーション開発フレームワークの基本とすることとした。

(2) ISO 25119 規格調査

ISO 25119 は、農林業向けの作業機械に関する機能安全規格であり、4 パートで構成されている。

ISO 25119 Tractors and machinery safety for agriculture and forestry

・ Part 1: General Principles For Design And Development

- ・ Part 2: Concept Phase
- ・ Part 3: Series Development, Hardware And Software
- ・ Part 4: Production, Operation, Modification And Supporting Processes

ISO 25119 Part 3 ではソフトウェア開発プロセスについても規定されている。サブテーマ③としては、ソフトウェア開発という観点から機能安全規格について調査した。

機能安全規格に対応するためにソフトウェア開発が行うことは、(1)「安全プロセス」ー開発プロセスが定義されていて、それに従って作業が進んでいること、(2)「安全設計」ーソフトウェアに対しての安全要求が考慮された設計・検証がされていること、の2点である。

「安全プロセス」は、一般的なシステム開発における「V字モデル」と基本的に同様のものであるが、それに従って作業が進んでいることを確実に証明できるドキュメント類が機能安全評価を受ける上で特に重要となる。

「安全設計」については、まず対象となるシステムにおける安全脅威分析から導出した安全コンセプト、そのコンセプトに基づくシステム設計が正しく実装され、検証されているかを確実に証明できることが重要となる。

本研究では、農業機械における安全脅威とは何かから分析し、そこから導出した安全コンセプトに基づいた ISOBUS 対応の農業機械の制御ソフトウェアを「安全プロセス」に従って開発する。

つまり、この過程を経て開発した農業機械の制御ソフトウェアは、ISOBUS 準拠というだけでなく、さらに ISO 25119 準拠の安全設計されたものとなる。近い将来、さらに両規格への対応が求められるにつれ、本研究での開発成果が非常に有用になるものと考えられる。

機能安全対応の要望の高まりに備えて、このアプリケーション開発フレームワークで開発した農業機械制御ソフトウェアの機能安全認証を受けるためには、実際にどのようにアプリケーション開発フレームワークの開発をすべきかを把握する必要がある。

そこで、本年度の欧州調査にて機能安全認証機関 TÜV SÜD へヒアリングを行った。

TÜV SÜD はドイツに本拠を置く第三試験認証機関で、国際機能安全基準に基づいた認証やコンサルタント業務も行っている。TÜV SÜD での機能安全評価は大きく以下のようなチェックポイント評価に分けられている。

- ・ 安全要求仕様の審査、安全設計管理システムの監査
- ・ ハードウェア、ソフトウェア要求仕様、ベリフィケーション(*1)・バリデーション(*2)試験プランの審査
- ・ ハードウェアデザイン、ソフトウェアデザインの審査
- ・ ハードウェアおよびソフトウェアのベリフィケーション試験の立会い試験

- ・ バリデーション試験およびその結果の立会い試験
- ・ ユーザー文書及び説明書の審査
- ・ テクニカルファイル式及びすべてのライフサイクル文書の審査

(*1) ベリフィケーション（検証）とは、対象システムが仕様・設計・計画などの要求事項を満たしているかに関する確証である。

(*2) バリデーション（妥当性確認）とは、対象システムの機能や性能が本来意図された用途や目的に適っているか、実用上の有効性があるかについての評価である。この2つの視点（V&V）での評価が、製品やサービス、システムなどの品質を確保する基本手段とされている。

今回の訪問でサブテーマ③として確認すべきことは、機能安全対応の農業機械の制御ソフトウェア開発環境である本アプリケーション開発フレームワークを開発する上で、前述の「安全プロセス」、「安全設計」がどのように係るかである。

その回答としては、開発基盤である本アプリケーション開発フレームワーク自体を「安全プロセス」、「安全設計」に従って開発する必要はなく、あくまで安全に関する部分のみが評価対象となるとのことであった。ただし、システム全体が評価の対象ではなくても、「V字モデル」のプロセスを経て開発しているのであれば、同様に仕様、設計、テスト、それらのトレーサビリティがあるはずである。つまり、機能安全のための特別なプロセスというよりは、システム全体としての品質管理が適切に行われていれば、その厳密さの違いはあるが、通常システム開発の延長であるとのことであった。

補足として、安全機能に係る部分に開発ツールやオープンソースライブラリを使用する場合の助言も頂いた。そのような場合、最終的にそれらについても検証が必要となる。本来は、提供元がそれらの情報を提供するものであるが、情報が無い場合は、利用者が独自に動作検証や、ソースコードが公開されているものはソースコードを元に検証を実施する必要があるとのことであった。

今回のヒアリング結果を元に本アプリケーション開発フレームワークとして「安全プロセス」、「安全設計」に従って開発を進める部分を決定した。

(3) ISOBUS ミドルウェア調査

ISO 11783 は、ハードウェア仕様からアプリケーション仕様まで広い範囲の仕様を定めている。通信仕様部分などの中間層は共通的な部分であり、既にオープンソース等でミドルウェアとして提供されているものも存在する。その一つ、ISOAgLib について調査を実施した。

ISOAgLib はドイツの OSB 社が管理する ISO 11783 実装のオープンソースプログラムライブラリである。ISOAgLib のシステムアーキテクチャを図 2-56 に示す。

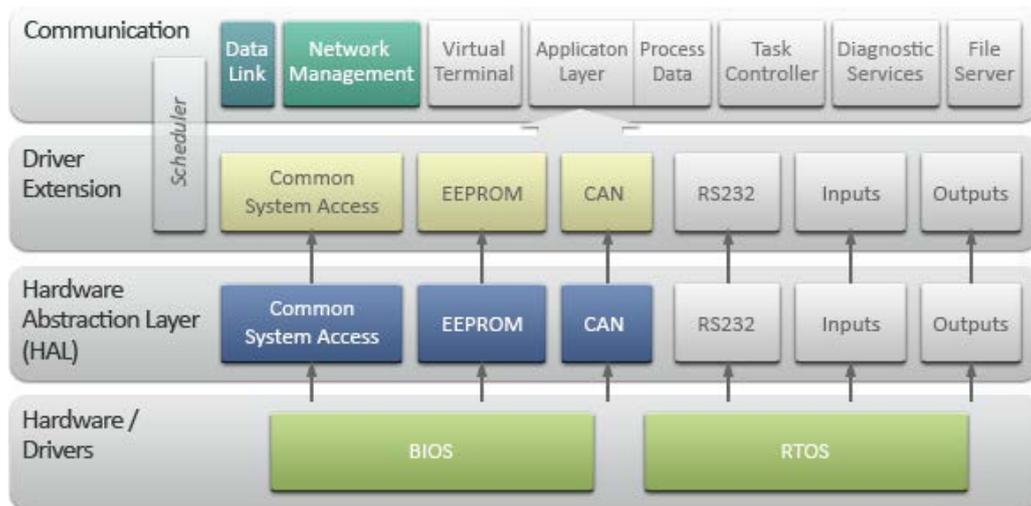


図 2-56 ISOAgLib システムアーキテクチャ

ISOAgLib はハードウェアやドライバをハードウェア抽象レイヤ（HAL）により抽象化する。上位層は実際のハードウェア仕様を意識することなくこの HAL のインターフェースを利用することになる。つまり、もし新しいプラットフォーム上に ISOAgLib を移植する場合は、対象とするハードウェア仕様に合わせて HAL のみを開発をするだけとなり、移植性が高い設計となっている。

本年度の欧州調査にて、OSB 社を訪問し、欧州の農業機械の機能安全の現状、ISOAgLib の機能安全対応の取組みについてヒアリングを実施した。

欧州でも農業機械の機能安全の要望は高まりつつある状況にあるとのこと。しかし、ISOAgLib は現状、機能安全対応ではないとのことであった。その理由は「動的メモリ確保」とのことである。

動的メモリ確保とは、プログラム処理と並行して必要なメモリ領域の確保と解放を行うメモリ管理の仕組みである。メモリの利用状況はプログラムの実行状況に応じて常に変化するため、必要なメモリ領域を適切に確保・使用・解放する必要がある。これは ISOAgLib が動的メモリ確保を前提とした C++ 言語で開発されているためである。

機能安全の観点では、特に安全性が最も重要視される組込み機器は、動的なメモリ確保は利用すべきではないと一般的に言われている。そのため、OSB 社では、2016 年を目途に ISOAgLib に変わる機能安全対応 ISOBUS ミドルウェアを開発中とのことであった。

本研究では、共通的な中間層は既存のミドルウェアを使用し、その上位層のアプリケーション層に着目することとしたため、ミドルウェアについては再検討が必要という調査結果に至った。再検討については来年度に実施することとした。

(4) 精密農業機能調査

精密農業とは、情報を駆使して作物生産に係わるデータを収集・解析し、収量や品質の向上、環境負荷低減を総合的に達成しようとする農場管理方法である。

本研究のテーマである農業機械の高度化を実現する上でも特に重要であり、その機能について調査を行った。

今回調査を行ったのは、株式会社ニコン・トリニブルが提供するGPSガイダンスシステム「Trimble® CFX-750™ GPS ガイダンスシステム」と自動操舵補助システム「EZ-Pilot」である。CFX-750 ディスプレイは、トラクタ運転室向けのタッチスクリーンディスプレイで、誘導、操舵、精度機能を提供する。また、CFX-750 ディスプレイにはGPS機能も内蔵されており、点播、噴霧、散布、耕耘など行う際の作業効率を最大限に高める機能を提供する。



図 2-57 CFX-750 ディスプレイとEZ-Pilot™

日本の農業業界では2013年の時点で、GPSガイダンスシステムの国内普及台数は2,500台を超え、その約9割が北海道内で利用されているとのことである。北海道の圃場は他県と比べ広大であり、作業効率化のためにもこうしたGPSシステムの活用が有効な手段となる。

以下は、GPSガイダンスシステムの活用例である。

- ・ 農業機械の作業幅や圃場形状に合わせて作業経路を誘導する
- ・ 圃場高低計測により圃場の場の均平度を維持する
- ・ 傾斜のある地形上を直線に進む際の精度を向上する
- ・ 作業状況の位置情報を記録し、圃場マップデータを作成する

EZ-Pilot 自動操舵システムは、CFX-750 ディスプレイからのGPSガイダンス信号により電動モータでハンドルを操作するシステムである。作業機の走行を高精度で自動化することで、運転時に作業に集中することができ、収量や品質の向上、さらには作業者の疲労を軽減することができる。また、自動化することで従来では困難であった夜間の作業も可能となる。農業人口の減少化が進む中で、精密農業が日本の農業の将来にも重要な技術であることがわかる。

(5) アプリケーション開発フレームワーク検討

ここまでの調査を経て、本アプリケーション開発フレームワークの基本概要を決定した。基本概要の説明にあたり、事業計画書の内容を以下に転載する。

アプリケーション開発フレームワークの開発とは、リアルタイム OS 上でアプリケーションを稼働させるために必要なタスク分割、割り込み処理などの専門性のある部位の**スケルトンプログラムを自動生成**することを差す。簡易設定とスケルトンプログラムの自動生成はパーソナルコンピュータ上で稼働するフレームワークツールが担当し、本サブテーマで開発する対象ツールである。このツールは農機具設計者に平易な質問を対話的に行い、その後、スケルトンプログラム生成で AgriBusBoard32 上のリアルタイム OS 上で稼働するスケルトンプログラムと必要タスクの呼び出しプログラムを生成ものである。

生成されたスケルトンプログラムは **ISO 25119** に対応したソフトウェアを生成するため、その生成エンジンは厳密であり、生成スケルトンプログラムに不具合が含まれてはいけい。そこで、このツール開発は**形式手法**を利用して不具合が混入されていないことを証明する。具体的には開発言語に Event-B, Classical B を活用し、モデル開発時から不具合が混在しないことを論理的に証明しながら開発する。

想定開発成果：

- －フレームワークツール (MS-Windows 上で稼働するツール)
- －論理証明一式

本アプリケーション開発フレームワークは、農業機械の制御ソフトウェア開発者を対象とする。

本アプリケーション開発フレームワークにおける**スケルトンプログラム**とは、ISO 11783 が定義する農業機械ごとの制御ソフトウェアを指す。スプレーヤー（農薬散布機）を例とすると、実際には機械ごとに異なるハードウェア仕様に依存する部分を除く共通的な部分、つまり ISO 11783 が定義するトラクタとスプレーヤ間の通信メッセージやその送受信手順の設計・実装のことである。

このスケルトンプログラムは、機能ごとに機能安全分析の対象となり、安全プロセス、安全設計を経て開発されたものである（**ISO 25119 に対応したソフトウェアを生成**）。安全プロセス実施による仕様、設計、テストなどのドキュメントに加え、**形式手法**による開発を**論理証明一式**として提供するものとする。

この本アプリケーション開発フレームワークを利用する制御ソフトウェア開発者は、基本的にそのハードウェアに依存する部分だけを追加で実装することで ISO 11783 対応アプリケーションを比較的容易に開発できるようになる。

本アプリケーション開発フレームワークにおける**自動生成**とは、制御ソフトウェア開発者が、例えばスプレーヤーやブロードキャスター（施肥機）などのスケルトンプログラムを（場合によっては何らかのパラメータを指定して）選択することで、そのソフトウェア開発環境（プログラムコードを含む開発プロジェクト）

を生成することを指す。この開発環境の生成を行うものを「フレームワークツール（MS-Windows 上で稼動するツール）」とする。

基本概要をまとめると以下の通りである。

- ・ このフレームワークは農業機械制御ソフトウェア開発者を対象とする
- ・ ISO 11783 準拠の農業機械向け制御ソフトウェアの開発フレームワークである
- ・ ISO 11783 の知識が浅い開発者でも比較的容易に規格準拠の制御ソフトウェア開発が可能となる
- ・ 制御ソフトウェアスケルトンプログラムは機能安全設計、機能安全プロセスに従って開発されたものである
- ・ 精密農業機能に対応できる制御ソフトウェアスケルトンプログラムである
- ・ 農業機械メーカーが機能安全対応を必要とする場合は、制御ソフトウェアスケルトンプログラムの開発ドキュメントを機能安全認証のために提供する

【デモ機開発の検討】

本研究での成果を対外的に主張する上で、なんらかのデモができることが望ましい。実際の農業機械を使用した大規模なデモも将来的に視野に入れているが、試作の段階では、模型を使用したデモでも十分に農業機械制御ソフトウェア開発の成果を効果的に主張できるのではないかと考え、トラクタのラジコンと作業機の模型を想定したデモ機を検討した。

作業機の電子制御化により作業機からトラクタを制御するという視点でスプレイヤを題材にしたデモ機を開発する。

制御ソフトウェアが機能安全設計されていることをアピールするために、スプレイヤのブーム（散布装置が付いた腕の部分）に人感センサーを搭載し、近くの間人を感知するとスプレイヤがトラクタの走行を停止させるといったデモを行う。

さらに ISOBUS 準拠であることをアピールするために、操作端末（VT）を設置する。また、管理 PC による自動走行機能のデモも想定している。この場合、自動走行中であってもスプレイヤの人感センサーが人間を感知した場合は安全のためにトラクタを停止させるといったことがわかりやすい。

図 2-58 にデモ機構想を示す。

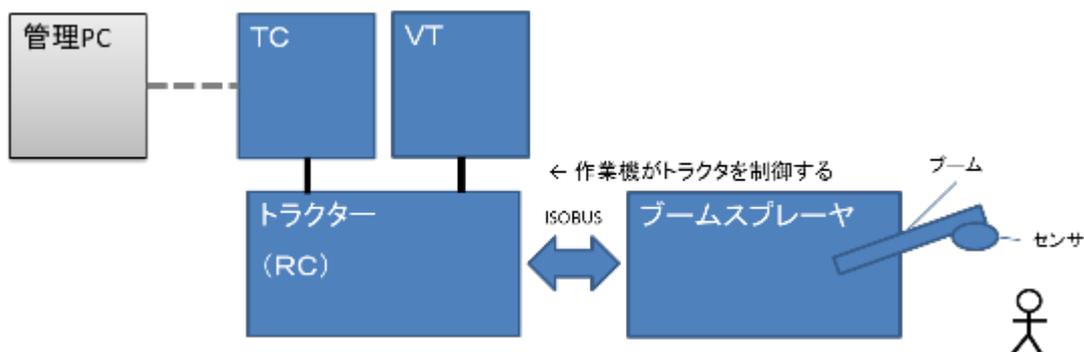


図 2-58 デモ機構想

【機能安全に係る作業機による制御の例】

- ・ ブームに取り付けた人感センサーが人間を感知するとトラクタの走行を停止させる
- ・ 公道走行時（一定の車速以上で走行時）はブームを開く操作はできない

本年度は、規格調査に基づく農業機械制御ソフトウェア開発のためのアプリケーション開発フレームワークの企画検討まで実施した。

図 2-59 に、アプリケーション開発フレームワークの全体構成図を示す。

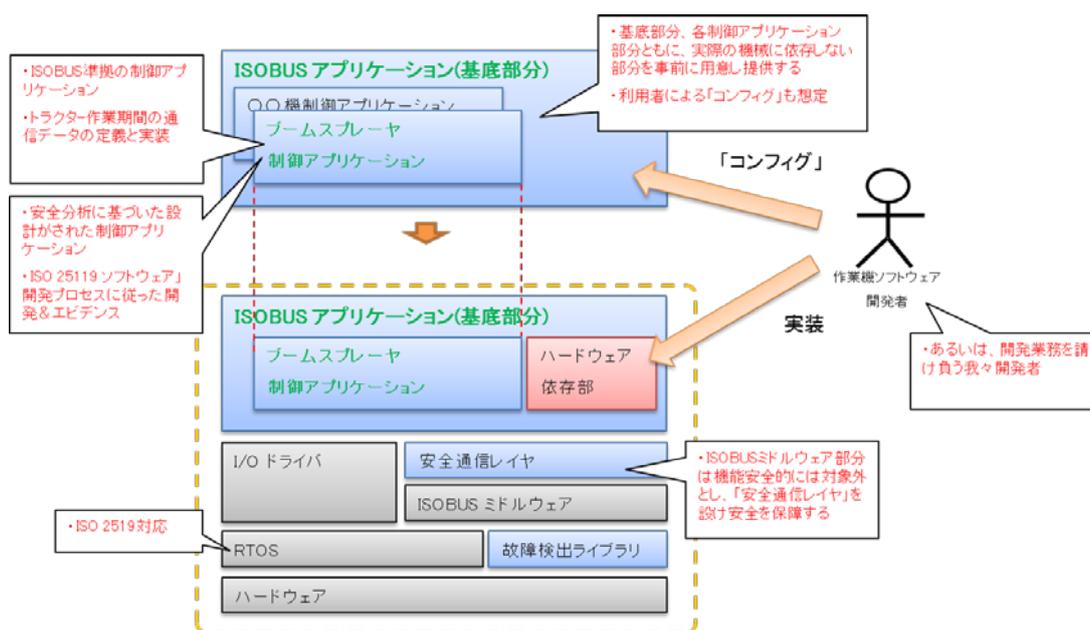


図 2-59 アプリケーション開発フレームワーク

本アプリケーション開発フレームワークは、図 2-59 の「ISOBUS アプリケーション(基底部分)」となる。この基底部分には、作業機の機能ごとにトラクタ間の通信メッセージや通信手順の実装が含まれている。これらの制御ソフトウェアは、「サブテーマ②：ISO 25119 機能安全対応」での機能安全分析に基づいて設計・実装されたものである。

本アプリケーション開発フレームワークを利用する作業機制御ソフトウェア開発者は、開発対象とする作業機の ISOBUS アプリケーション(基底部分)を選択し、実際の装置制御などのハードウェアに依存する部分のみを追加で実装する。こうして実装した制御ソフトウェアは、「サブテーマ①：ソフトウェアプラットフォームの開発」で開発した RTOS、I/O ドライバ、安全通信レイヤ、故障検出ライブラリ上で動作する。

このように、本研究の 3 つのサブテーマを通して、一つの農業機械開発ソリューションを提供することになる。

この研究事業に参加のアドバイザーからは次のような評価をいただいた。

- ・ ISOBUS は、日本国内ではまだ始まりの段階で、欧米に十数年近く遅れている状況であるが、これから対応が求められる規格である。本研究を通じて日本国内での開発力を強めることは事業展開の上でも重要であると考えます。

- ・ ISOBUS 対応だけでなく「安全設計」をも主張することであればより魅力のある製品になるだろう
- ・ フレームワーク製品開発にとどまらず、安全設計も含めた開発全体を「フレームワーク」として主張もできれば、機能安全分野での事業展開もありうるだろう

来年度は、アドバイザーの意見を踏まえて研究を進める予定である。

(2) 実証アプリケーション仕様検討

【研究実施内容】

生成された農業用機械ソフトウェアの有効性を示すため、圃場管理システムを通じて智能化農業用機械群の稼働プランニングとデータ収集を行うためのシステムを開発する（図 2-60）

本アプリケーション開発は次のサブ開発テーマからなる

- 1) クラウドコンピューティング型 FIS のアーキテクチャ開発
- 2) クラウドコンピューティング型 FIS 上の応用アプリケーションの開発
- 3) ISO-BUS 仕様に対応した TC(タスクコントローラ)との情報通信, 作業実現

以下それぞれについて、今年度の取り組み概要を示す。

- (1) クラウドコンピューティング型 FIS のアーキテクチャ開発

智能化トラクタによる精密農法

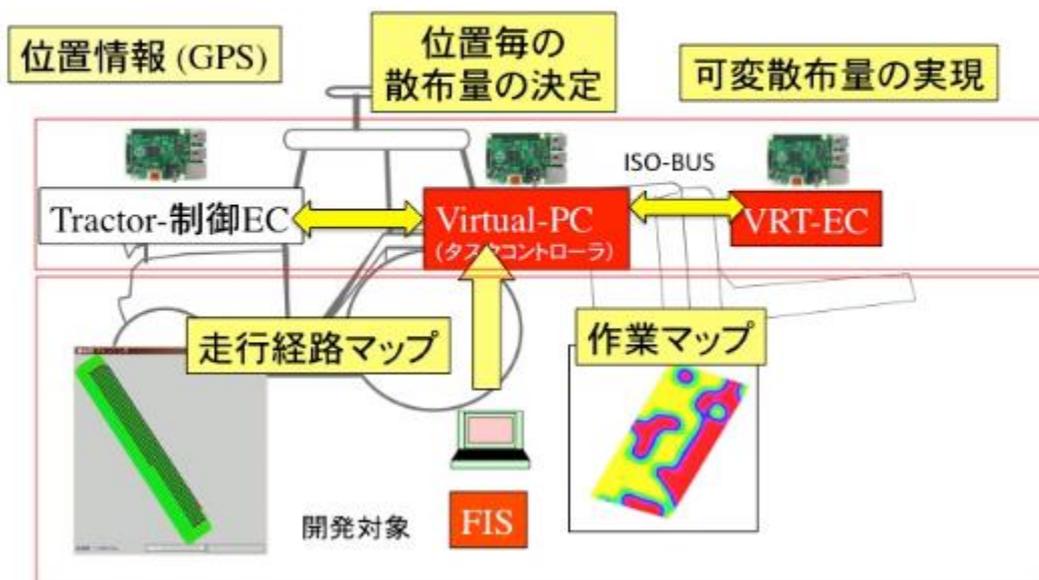


図 2-60 精密農法と圃場管理システム

土壌データや、生育データ等の事前圃場データに基づき、ISO-BUS 機器と連動しながら、農業機械群の稼働に必要な作業のプランニングを事前、さらには稼働最中に修正する圃場管理システム FIS の構築を目指し

ている。当初この事前圃場データは数百 MB と見込んでいたが、近年のセンサリング技術の向上により、数 TB のデータになることが判明した。圃場管理システムはクラウドシステムとして設定されることが望まれており、当該クラウドシステムのアーキテクチャが、数 TB のデータ通信を行う上での、問題点の発見と改善方法の検討を行う必要がある。クラウドシステムを想定して、AMAZON WEB SERVICE 上に基本アーキテクチャを構築し、データベース機能、計算処理、通信処理を行うための基盤を準備した。ここで、データベースから必要なデータ群を取り出すプログラムは SQL と呼ばれるが、その SQL プログラムの構築方法によって、システム性能が大きく変わる。一方、その性能はデータ依存になるケースが多く、実際に動かし、分析ソフトウェアを用いて、どのような改善を行うべきか検討する開発スタイルが取られる。そこで、その性能評価実験を行った。その結果、数 TB のデータ処理における SQL 性能を向上させることが必要であり、そのため SQL 解析ソフトウェア (Jet Profiler for MySQL 3 Enterprise Version) を購入し、解析準備を整えた。

(2) クラウドコンピューティング型 FIS 上の応用アプリケーションの開発

トラクターを中心とした知能化農業機械群を活用するためには、圃場の形状データおよび土壌データ、生育状況データ、さらには作業日前後の天候データ等を統合して、生産コストを最小化し、収穫利益の最大化に向けたプランニングと作業履歴の蓄積が必要となる。FIS に要求される様々な機能の中から、最も実証上重要な機能の一つである、パスプランニングについての仕様検討を行った。検討概要の詳細については、次章で示す。

(3) ISO-BUS 仕様に対応した TC(タスクコントローラ)との情報通信、作業実現

上述のプランニング結果をトラクタおよび作業機に渡すとともに、作業結果を受け取るためには、ISO-BUS に対応したタスクコントローラ (TC) との規格化された通信様式が必要となる。ISO-BUS 企画の該当部分について、調査を行い、次年度の実装に向けて、準備を行った。

多くの圃場では、圃場形状は、ほぼ四角形であり、作業効率の観点から、長辺方向へ畝を伸ばすのが最善となる。また、畝の両端では、トラクターの方向転換領域を設けることになる (図 2-61)

播種位置・走行位置の決定

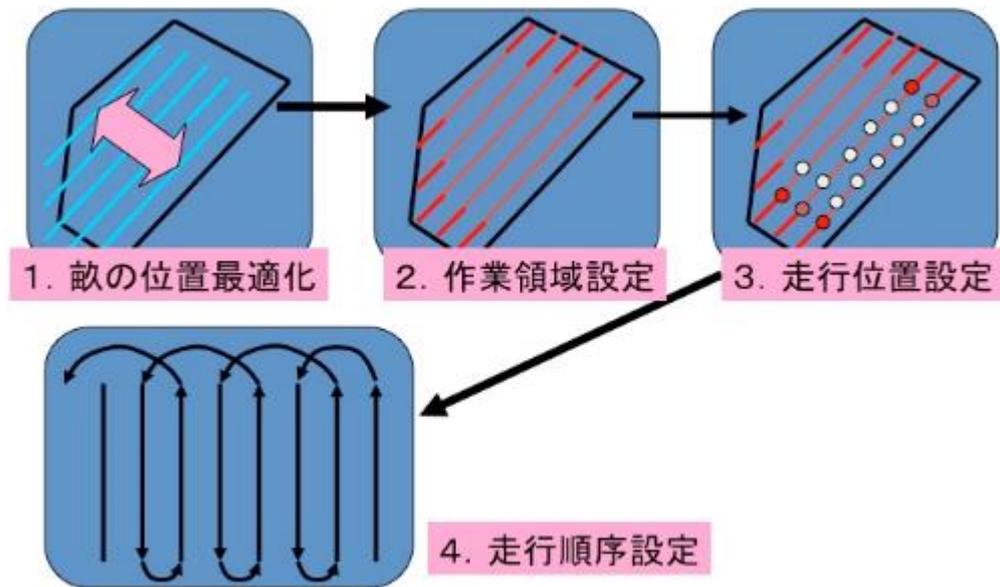
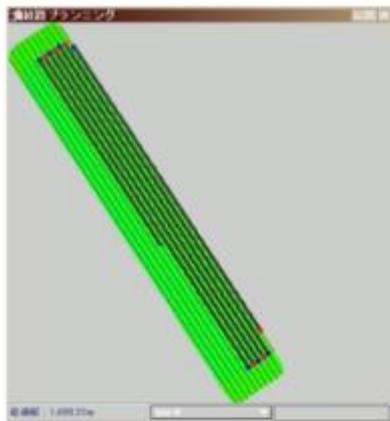


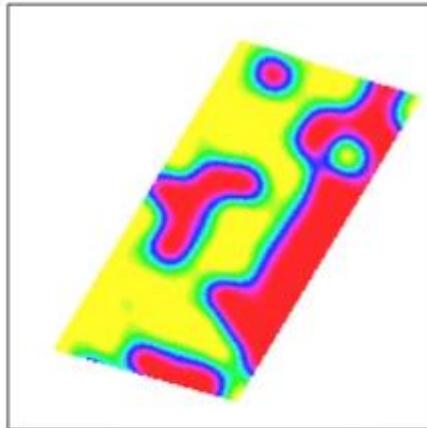
図 2-61 走行経路決定手順

作成された畝方向に播種を行えば、以後、施肥、防除、収穫といった作業を自律トラクタ、またはGPSガイド付きのトラクタ作業機で、作業を行えることになる。図 2-62 に施肥作業を行う際のプランニング事例を示す（鈴木 2002）。圃場の土壌データから、位置毎の必要な施肥量を算出したマップが、施肥作業計画（図 2-62 右）であり、可変施肥作業機により無駄な施肥量を削減し、収穫量を維持することができる。

作業プランニング事例



走行経路計画



施肥作業計画

図 2-62 施肥作業プランニング事例 (Suzuki 2002)

実際の圃場で、ロボットトラクタを用いて、精密化編施肥作業をテン菜を対象に行った事例を示す（図 2-63）。この結果より、施肥量を 20 パーセント削減し、収穫量は従来通りの結果を得ている。

また、可変散布可能なスプレイヤによる速度対応散布の実験例を示す。図 2-64 左が圃場におけるロボットトラクタの GPS に基づく速度を 3 次元でプロットしたものである。平坦な圃場ではあるが小刻みに速度変動があることが見て取れる。これに対して同図右は速度に対する散布量のグラフであり、赤でプロットした点が通常の定量散布で低速になったときに、撒きすぎとなり、速度が上がったときに散布量が不足し、全体としてムラのある散布になっていることがわかる。一方、可変散布制御をおこなった場合が青のプロットで、ばらつきはあるものの、速度に応じて変化させられていることが示されている。

このように、知能化作業機を使うことによって、作業の効率化、コスト削減、収穫最大化を図れる期待は大きい。以下では、知能化作業機を運用する上で基礎となる、経路プランニングの方法について検討を行った結果を示す

精密施肥作業による成果

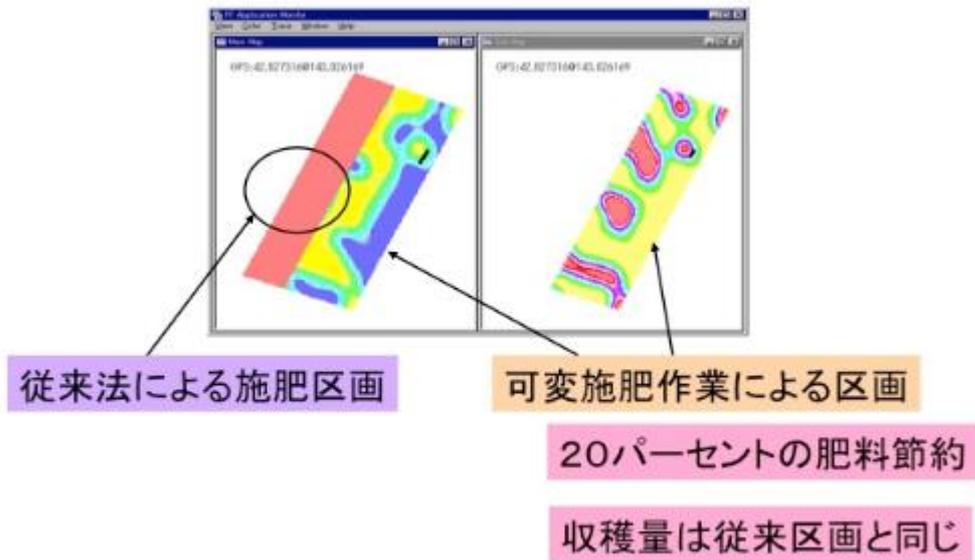
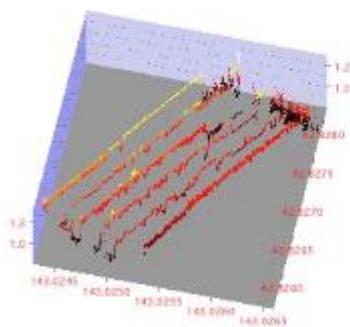


図 2-63 精密施肥作業による実験事例 (Suzuki 2002)

速度変化に応じた散布量制御

ロボットトラクタの速度変化



速度に対する散布量変化

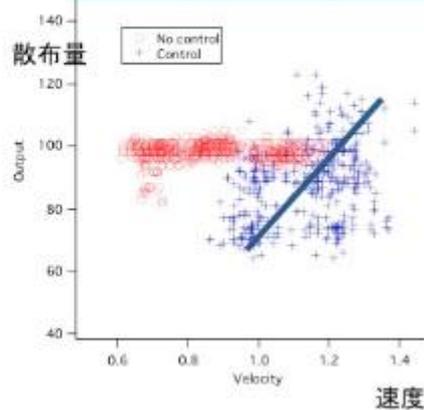


図 2-64 スプレイヤ作業中のトラクタ速度と可変スプレイヤに速度対応散布実験事例 (Suzuki 2002)

【研究成果】

圃場における経路プランニングの課題は、不定形圃場への対応である。不定形圃場における経路プランニングとして、T. Oksanen らの提案による優れたアルゴリズムがある。(T. Oksanen 2007) ここではそのアルゴリズムの概要を示す。

このアルゴリズムは、以下の手順からなる。

- 1) 圃場形状の分割
- 2) マージ
- 3) 方向探索
- 4) 転回領域付加

ここでは圃場形状は多角形とする。圃場形状を台形状で分割を行う。分割ラインは形状の頂点毎に発生させる。この際、内部に侵入付加領域がある場合にも、その領域の頂点から分割ラインを発生させて、形状の分割を行う。(図 2-65)

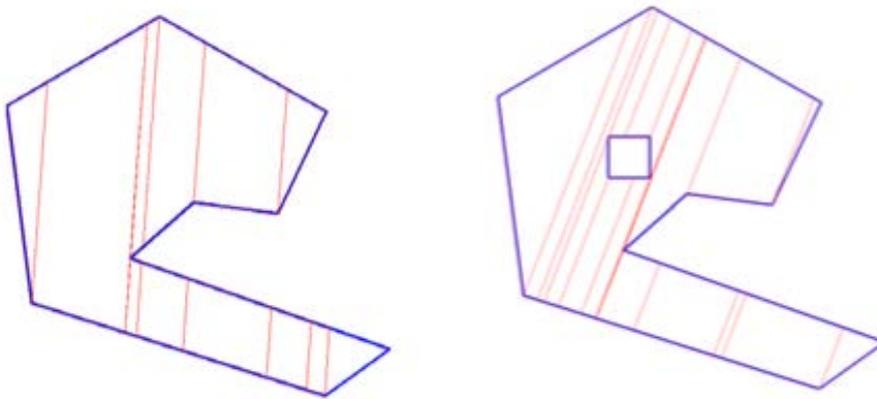


図 2-65 圃場分割例

次に分割した形状のマージを行う。隣接する分割毎に結合を行う。この際、結合領域が最大化されるように結合するとともに、結合された領域で、辺の角度が20度以下にならない場合に、結合を継続する。結合された結果を図 2-66 に示す。

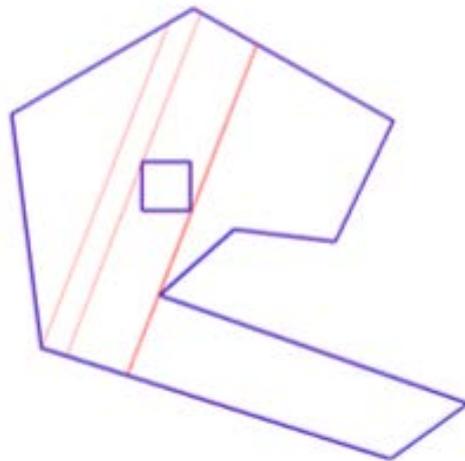


図 2-66 結合事例

結合された領域毎に、走行方向の探索を行う。コスト関数として、1経路の長さが出来るだけ長くなる方向をコストが低くなるものとして、コスト最小化を行う。探索アルゴリズムについては、この論文独自のヒューリスティック探索として、最初に6方向(0°、30°、60°、90°、120°、150°)で、コストを計算し、コストが低くなる3方向を選び出す。この選び出した方向それぞれを、順次再分割しながら、方向の分解能を上げていく探索を行う。最終的に分解能が1°まで探索を行う。

求まった方向に従って、あらかじめ定められた走行幅で、走行ラインを決定する。領域の境界で必要に応じて、方向転換領域を付加する。このさい、領域毎の作業順序を工夫することによって、圃場内部の方向転換領域を削減できる点に注意を要する。この結果例を図 2-67 に示す。

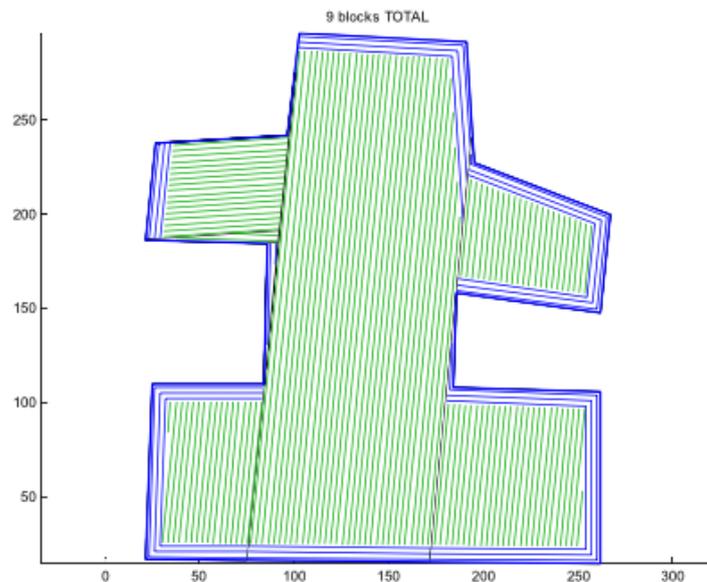


図 2-67 走行経路生成事例

さらに、この論文では、圃場の3次元形状に起因する走行方向の制限や、圃場内に埋め込まれた排水設備に対応した走行方向の制限に対応した探索アルゴリズムを提案している。図 2-68 の右図において、赤線で囲まれた領域は、その中央に示されている方向に関して、走行ができない場合を示している。禁止領域のない左のケースに対して、方向探索を行う際に、禁止領域の方向を外すことによって、左のケースとなる、走行経路の生成が行えていることがわかる。

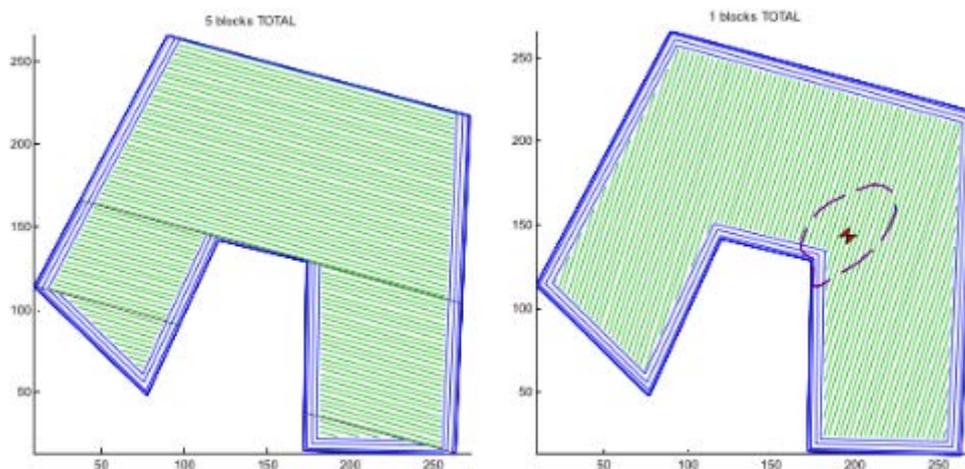
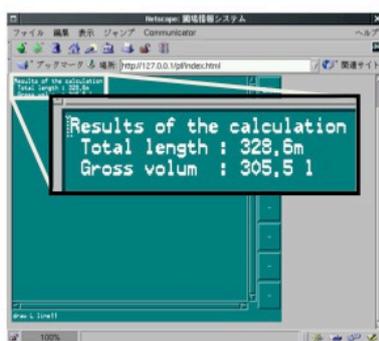


図 2-68 走行禁止方向を持つ場合の事例

補給タイミング・経路の設定



Path No.	Path Length (m)	Quantity (kg/ 10a)
1	221.68	99.55
2	242.83	108.01
3	240.68	107.18
4	243.44	107.62
5	242.30	107.08
⋮	⋮	⋮
6	241.82	107.51
7	243.99	107.28
8	243.25	106.71
9	241.66	104.04
10	242.19	103.4
11	245.35	102.5
12	243.37	101.09
		99.61
		98.62
		⋮

正確な散布 ⇒ 使用量の正確な予測
 ⇒ 補給量・タイミングの計画可能
 ムダの無い作業の実現

図 2-69 施肥作業における肥料補給タイミングの計算事例(Suzuki 2002)

サブテーマの（１）および（３）に対応したものとして、開発した経路プランニングアルゴリズムのクラウドシステム上で動作確認、および、そこから ISO-BUS 対応の XML 形式でのタスクコントローラーへのデータ受け渡し、作業結果の受け取りを実現していく必要がある。

【参考文献】

Kaloxyllos, Alexandros, et al. "Farm management systems and the Future Internet era." *Computers and Electronics in Agriculture* 89 (2012): 130-144.

T. Oksanen and A. Visala. "Path Planning Algorithms for Agricultural Machines". *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript AT0E 07 009. Vol. IX. July, 2007.

Suzuki, Keiji, et al. "A Planning System for Precision Farming Based on an Autonomous Tractor." *Operations Research/Management Science at Work*. Springer US, 2002. 363-373.

鈴木恵二、嘉数侑昇. "ロボットトラクタシステム: 精密農法による食糧生産技術の新潮流." *システム/制御/情報: システム制御情報学会誌* 46.5 (2002): 252-259.

2-5-1 H27 年度の実施内容

H.27 年度は、前年度検討内容から、ブームスプレーヤーアプリや管理 PC アプリの開発を行う。また、実証用試作機についての検討を行う。

【タスクと主担当機関】

- 1) ブームスプレーヤーアプリ開発: 株式会社ヴィッツ
- 2) 管理 PC アプリ開発: はこだて未来大学 アーク・システム・ソリューションズ株式会社
- 3) 実証用試作機開発: 株式会社ヴィッツ アーク・システム・ソリューションズ株式会社

2-5-2 H27 年度の研究内容と成果

(1) ブームスプレーヤーアプリ開発

【研究実施内容】

以下のタスクを実施した。

- 1) 仕様の検討
- 2) 設計
- 3) 実装

【研究成果】

- 1) 仕様の検討
まず、ブームスプレーヤーアプリの機能を検討し、それを基に全体の構成を検討した。



ブームスプレーヤ試作機アプリの全体像

Advanced Basic Technology Dept.

トラクタ | 作業機

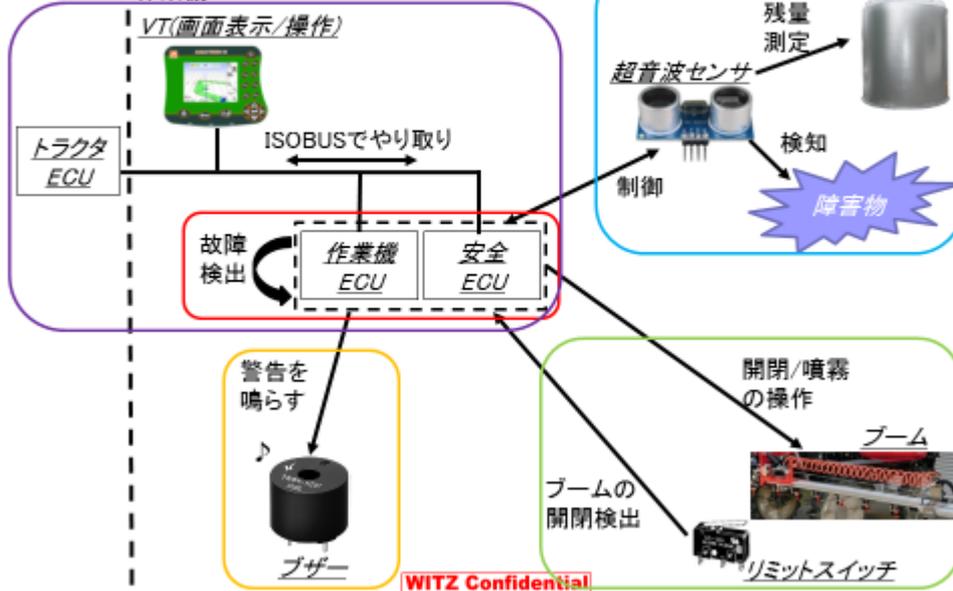


図 2-70 ブームスプレーヤアプリケーションの全体構成

2) 設計

1) の構成を基にデモ用の回路を検討し、ブロック図として設計した。

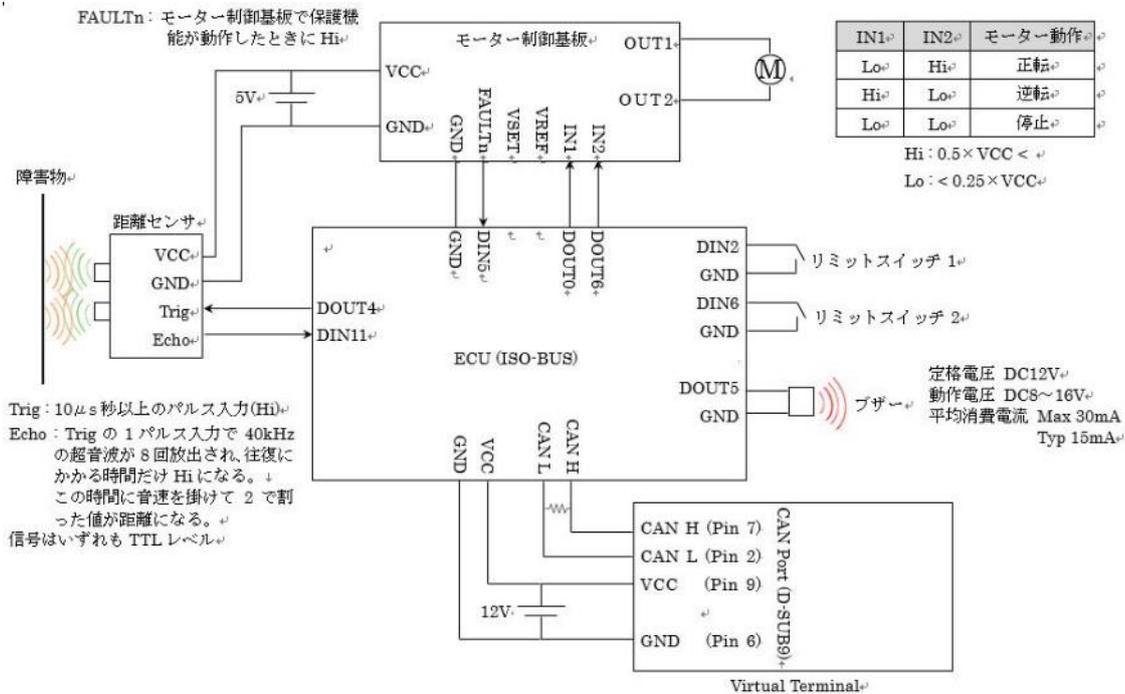


図 2-71 デモ用回路の設計(ブロック図)

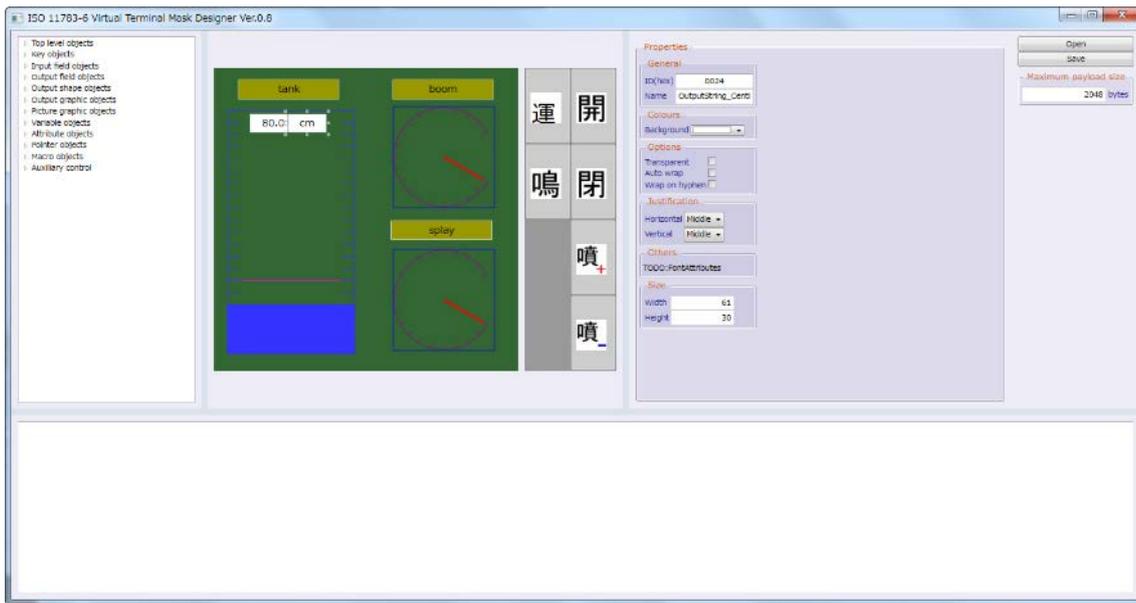


図 2-74 画面の作成

4) 動作確認

ブレッドボード上に回路を作成し、Agr iBusBoard32 と接続した上で、意図通りに動作することを確認した。

(2) 管理 PC アプリ開発

【研究実施内容】

前年度のアプリケーションフレームワーク開発の企画検討では、農業機械制御ソフトウェア開発者を対象とした ISO 11783 準拠の農業機械向け制御ソフトウェアフレームワークを検討した。また、高まりつつある精密農業（情報を駆使して作物生産に係わるデータを収集・解析し、収量や品質の向上、環境負荷低減を総合的に達成しようとする農業管理方法）についての調査を行った。

農業生産性、品質の向上、安定供給のための精密農業には、農業機械のソフトウェア制御だけでなく、農作業自体の情報化も重要とされ、こういった農業情報管理システムは、効率的な営農支援のために既に多くの企業が研究・開発を進めている分野である。GIS（地理情報システム）を応用することで、農業現場におけるさまざまな情報と地図情報を関連付けさせて管理・活用する仕組みである。さらにクラウドとの連携による大規模なデータ収集を活用するなど生産性の飛躍的改善に貢献するものと期待されている。

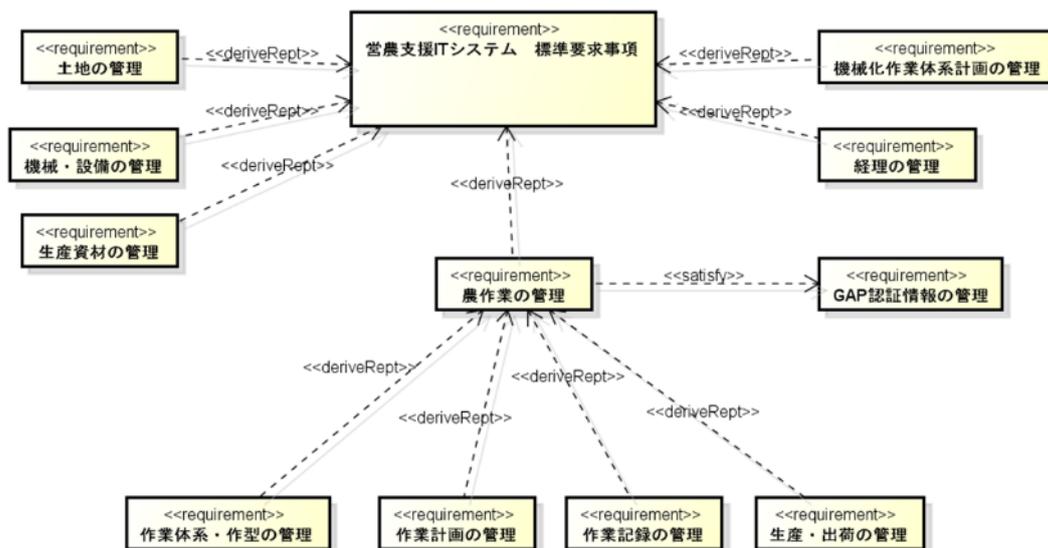


図 2-75 「営農支援 IT システム」システム要求事項

北海道立総合研究機構 工業試験場

北海道型農業のための IT システム設計ガイド

北海道型農業 営農支援 IT システム標準要求仕様<概要版> より

ISO 11783 の 10 章では、精密農業を実現させるための農業情報管理システムにおけるデータ交換について定義されている。今年度のサブテーマ③の活動としては、農業情報管理システムについて調査し、アプリケーション開発フレームワークの一環として、ISO 11783 準拠の農業情報管理システムを提供することを目標に以下の項目について取り組んだ。

- [1] ISO 11783 タスクコントローラ規格調査
- [2] 営農情報管理支援システム開発用ソフトウェアライブラリ開発
- [3] 欧州調査 アグリテクニカ視察

【研究成果】

- [1] ISO 11783 タスクコントローラ規格調査

ISO 11783 10 章「タスクコントローラ及びマネジメント情報システムデータ交換」では、農業情報管理システムは「Farm Management Information System: FMIS」と呼称されている（以下、FMIS）。10 章では、農作業における一作業を「タスク」として表し、それを管理・実行するための方法が規定されている。

本活動の目標であるアプリケーション開発フレームワークに、FMIS をどのように組み込むのが妥当であるかを検討するために、ISO 11783 が規定する FMIS についての調査を行った。本項では、規格内容の概要をまとめる。

ISO 11783 における FMIS では、タスク管理には2つの目的があるとされている。1つ目は、トラクタ、作業機、作業者などの「リソースの管理」、2つ目は「農作業の記録と管理」である。農業従事者が、FMIS 上で、何を、どこで、どのように、誰によって、いつ、といったタスクを計画し管理する。

FMIS は、PC やタブレット PC 上で動作する。FMIS 上で計画したタスクは ISO 11783 が規定するデータ形式に変換されトラクタ・作業機上の「タスクコントローラ」に渡される。タスクコントローラは、計画されたタスクに従い作業機を制御し、その動作記録を収集して FMIS へ返送する、という流れとなる。

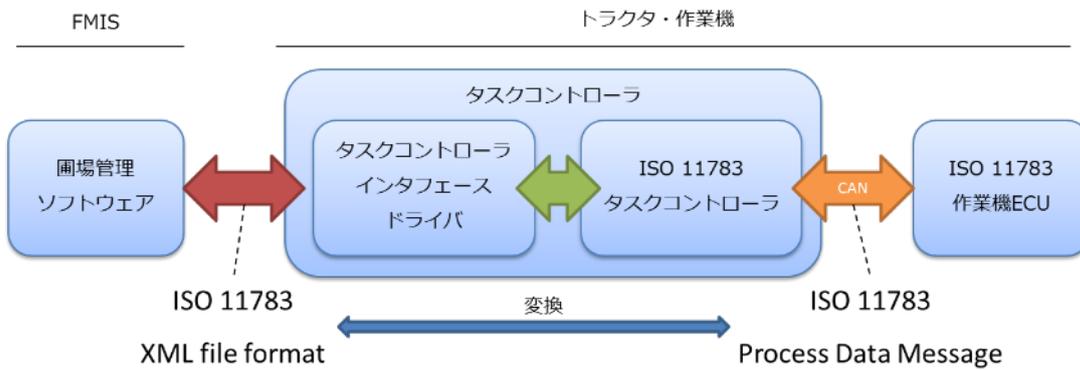


図 2-76 タスクコントローラ

FMIS とトラクタ・作業機（規格ではトラクタ・作業機を MICS: Mobile implementation control system と総称）の処理フローの詳細を図 2-77 に示す。

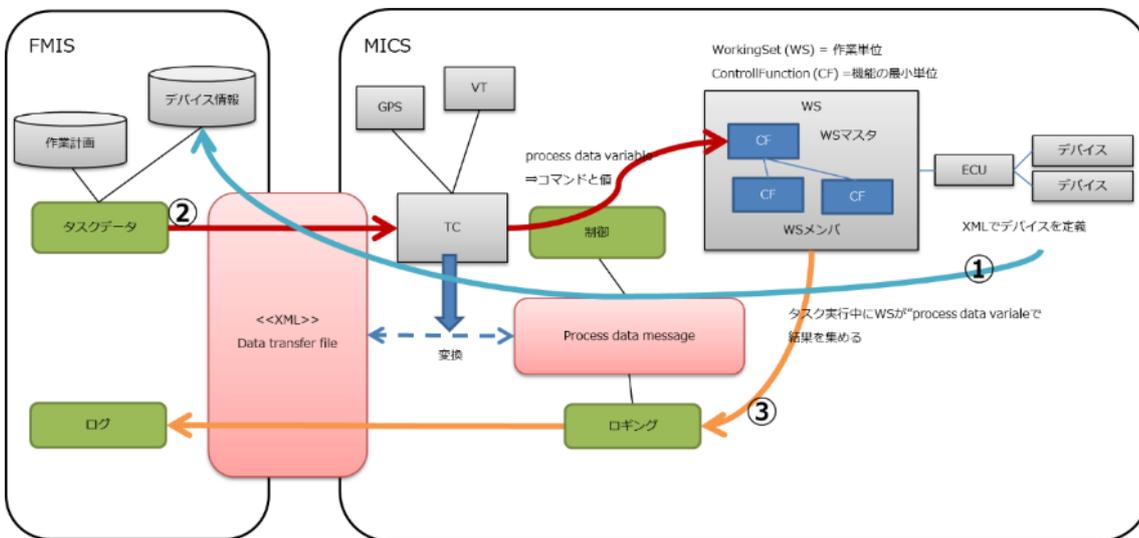


図 2-77 処理フロー

ISO 11783 準拠の作業機はシステム上、複数のデバイス要素 (DeviceElement) で構成されるデバイス (Device) として定義される。各 DeviceElement、Device には一意の識別子が割り当てられる。このデバイスの定義は、作業機メーカーが作業機を開発する際に定義するものであり、FMIS はそのデバイス情報をあらかじめ入手する必要がある (図 2-77 中の①)。

FMISにはタスクの計画・管理を行うアプリケーションソフトウェアがある。このアプリケーションがデバイス情報とタスク情報を紐付けた「タスクデータ」を規定のデータ形式でMICS上のタスクコントローラ(TC)に送信する(図2-77中の②)。

タスクデータを受信したTCは、タスクデータを「Process data message」と呼ばれるデータ形式に変換し、対象となるデバイスに制御指示をする。そしてデバイスから動作状態をログとして収集しFMIS側へ送信する(図2-77中の③)。

ISO 11783 10章では、FMIS-MICS間のデータ形式について詳しく規定されている。データ形式にはXML(文書やデータの意味や構造を記述するためのマークアップ言語の一つ)を使用し、デバイス情報、タスク情報をすべてXMLで表す。このXMLでの情報記述がFMISやタスクコントロール機能を実現する上で重要な点となる。

ISO 11783 10章が規定するXMLによる情報記述について、XML要素一覧、デバイス定義、ゾーン定義、データディクショナリの視点で整理する。

【XML要素】

規格では、44種類のXML要素が定義されている。前述のデバイスやタスクに関するものだけでなく、農業作業者氏名や住所、圃場の住所、作物の種類などさまざまな情報を表すための要素がある。

識別子	XML要素名	説明
AllocationStamp	ASP	ASP specifies a recording of an allocation event.
CodedComment	CCT	CCT describes predefined comments.
CodedCommentGroup	CCG	CCG can be used to combine predefined CodedComments into groups.
CodedCommentListValue	CCL	CCL provides a value to qualify a coded comment.
ColourLegend	CLD	CLD describes a color legend.
ColourRange	CRG	CRG specifies the color.
CommentAllocation	CAN	CAN allocates a CodedComment or a free comment text to a task.
Connection	CNN	CNN is to specify how two devices are connected to each other within a single task.
CropType	CTP	CTP describes a crop.
CropVariety	CVT	CVT describes varieties of a crop specified by CropType.
CulturalPractice	CPC	CPC describes cultural practices that can be allocated to a task.
Customer	CTR	CTR describes a customer.
DataLogTrigger	DLT	DLT is included in the task and contains the information about which ProcessDataVariables values shall be logged as DataLogValues during task processing.
DataLogValue	DLV	DLV specifies a single value of a single ProcessDataVariable.

		specified by its DDI and supplied by a single DeviceElement.
Device	DVC	DVC describes a complete device.
DeviceAllocation	DAN	DAN includes information on which device(s) the planned task was created for and which devices were actually used during task processing.
DeviceElement	DET	DET describes the functional or physical elements of a device.
DeviceObjectReference	DOR	DOR describes a reference to a DeviceProcessData object or a DeviceProperty object.
DeviceProcessData	DPD	DPD describes ProcessDataVariable DDIs, supported by the DeviceElement references this XML element.
DeviceProperty	DPT	DPT describes a property of a DeviceElement by means of a reference and a value for a DDI.
DeviceValuePresentation	DVP	DVP is used to specify the presentation of the data dictionary entity-defined integer values that are used within a single device.
Farm	FRM	FRM contains all required information to describe a farm.
Grid	GRD	GRD describes the dimension and position of a set of gridcells.
ISO11783_TaskData	-	ISO11783_TaskData is the main XML element.
Linestring	LSG	LSG describes the position, length and appearance of a line.
OperationTechnique	OTQ	OTQ describes operation techniques like "drilling", "spreading", "gaseous".
OperationTechniqueReference	OTR	OTR contains a reference to a single OperationTechnique.
OperTechPractice	OTP	OTP provides an assignment of the combination of a specific operation technique with a single cultural practice.
Partfield	PFD	PFD describes a partfield.
Point	PNT	PNT describes the position and appearance of a point location.
Polygon	PLN	PLN describes areas by inclusion of linestrings.
Position	PTN	PTN describes a measured position.
ProcessDataVariable	PDV	PDV is included in a TreatmentZone.
Product	PDT	PDT describes a single product.
ProductAllocation	PAN	PAN specifies the allocation of a single product to a task.
ProductGroup	PGP	PGP is used to group products.
Task	TSK	TSK describes an ISO 11783 task.
Time	TIM	TIM specifies a recording of a time event.

TimeLog	TLG	TLG are used as embedded lists inside the XML data transfer file or as a time template specification in the TimeLog XML element.
TreatmentZone	TZN	TZN describes an area to be treated with the same process data DDI and the same values.
ValuePresentation	VPN	VPN is used to specify the presentation of data dictionary entity-defined integer values.
Worker	WKR	WKR describes a worker that can be referenced by a task.
WorkerAllocation	WAN	WAN describes the allocation of workers to a task.
ExternalFileContents	XFC	XFC is used to group all XML elements of an XML file external to the main XML data transfer file in order to keep the external file well formed.
ExternalFileReference	XFR	XFR is used to refer to an XML file external to the main XML file.

【デバイス定義】

作業機も構成を「デバイス」として定義する。デバイス定義は作業機メーカーが開発時に作成するものであり、FMISはこのデバイス定義に基づいてタスクを割り当てることになる。デバイスに関するXML要素の関連を図 2-78 に示す。

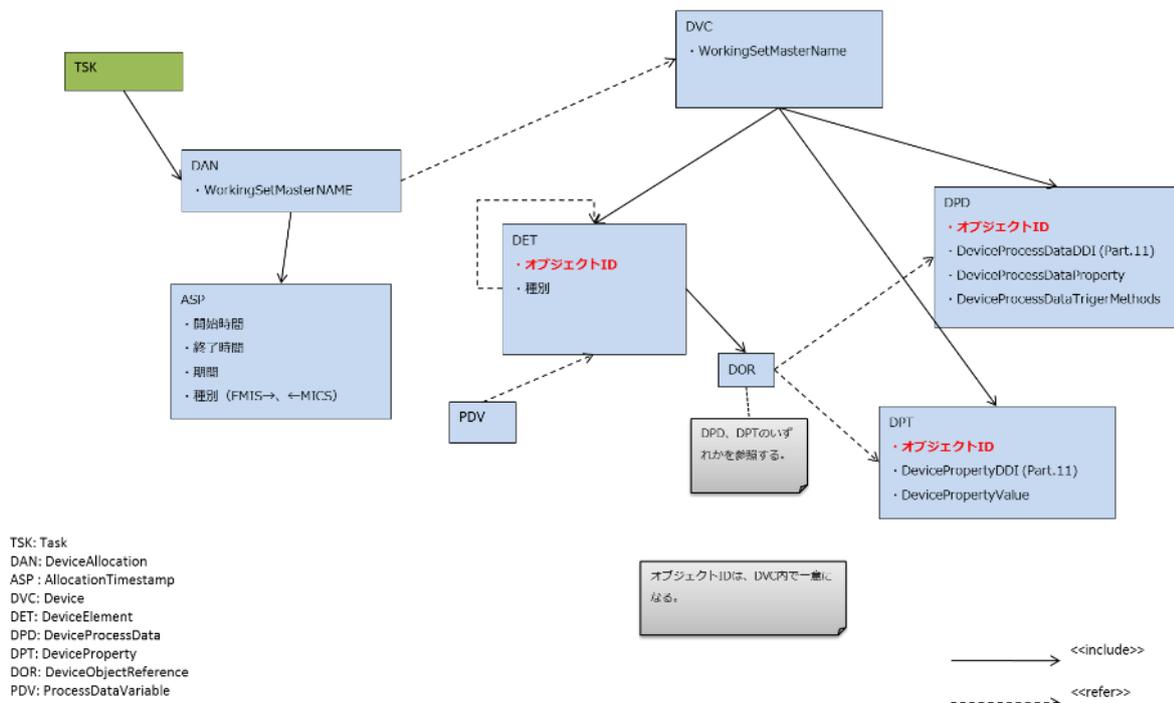


図 2-78 デバイス定義に関する XML 要素の関連図

【ゾーン定義】

タスク計画をするには、圃場の情報が必要になる。規格では、圃場を格子状に区切り（区切った枡をグリッドセルと呼ぶ）、グリッドセルごとに作業内容を設定する。作業内容は「トリートメントゾーン(TZN)」と呼ばれ、例えば、ブームスプレーヤの場合、散布量の設定ごとに（100、200、300[mm³/mm²]であれば3パターンのように）TZNを設定する。各グリッドにはどのTZNを設定するかを指定することになる（Grid 種別 Type1 の場合）。ゾーン定義に関する XML 要素の関連を図 2-79 に示す。

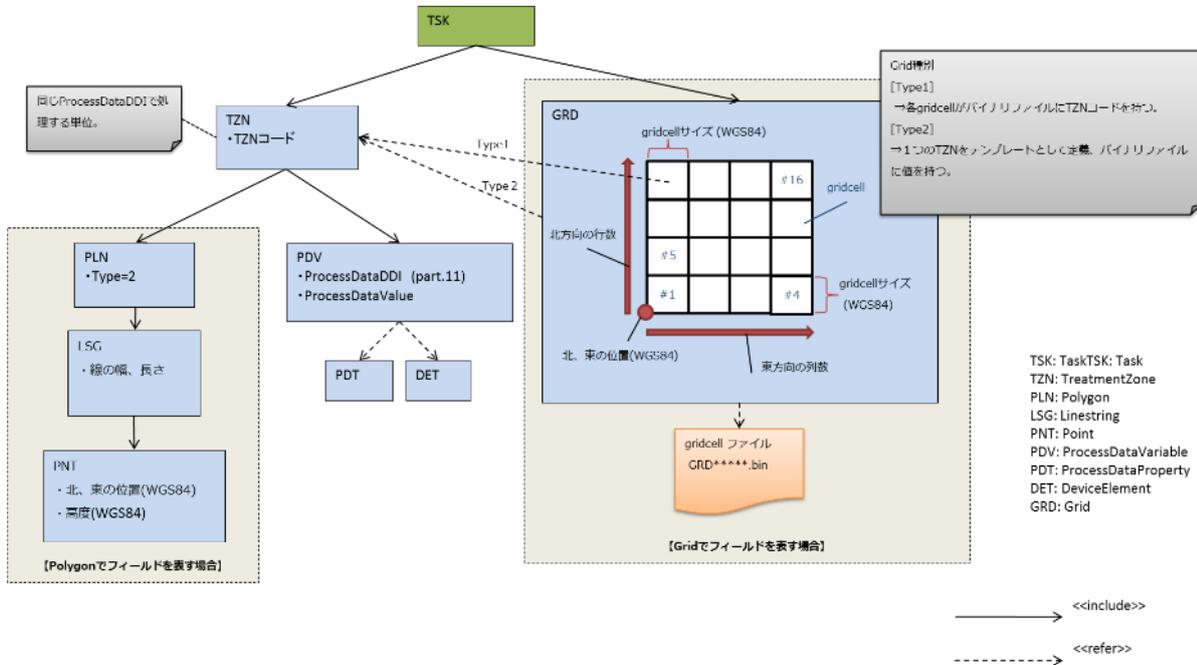


図 2-79 ゾーン定義に関する XML 要素の関連図

【データディクショナリ】

デバイス定義やゾーン定義では、データディクショナリという規格で定義されているデータ定義を使用する。例えば、デバイスの定義において、デバイスにはそのサイズや基点からのオフセット位置などを詳細に定義する必要がある。それらのデバイスのサイズやオフセット属性を指定するための識別子がデータディクショナリに定義されている。

この識別子と値（サイズ属性であれば実際のサイズ値）をセットにしてデバイス定義を行う。

データディクショナリには、属性のための識別子だけではなく、デバイスにどのような作業をさせるか（プロセスデータと呼ぶ）を定義するための識別子も定義されている。前述のゾーン定義での散布量の設定などで使用する。

データディクショナリは、ISO 11783 11 章で定義されており、インターネット上でも公開されている。

ISO 11783 におけるタスクコントロールについては、これら XML 要素、デバイス定義、ゾーン定義、データディクショナリの内容を正しく理解することが重要である。

この調査結果、規格理解に基づいて本プロジェクトで開発するソフトウェアを検討した。その詳細については次項を参照。

前項の ISO 11783 10 章「タスクコントローラ及びマネジメント情報システムデータ交換」の規格調査・理解に基づき、営農情報管理支援システム開発用ソフトウェアライブラリの開発を検討した。

背景として、農業生産性、品質の向上、安定供給のための精密農業の実現には、農業機械のソフトウェアによる高度化が必須であり、国際規格への準拠、低コスト化も重要である。ISO 11783 規格は膨大で複雑な内容であるため、開発するには多大なコストがかかる。そこで、ソフトウェア開発をする上で、汎用化できる部分をあらかじめライブラリとして開発し提供することで、規格の理解やソフトウェア開発のコストを大幅に削減できるものを目指すこととした。

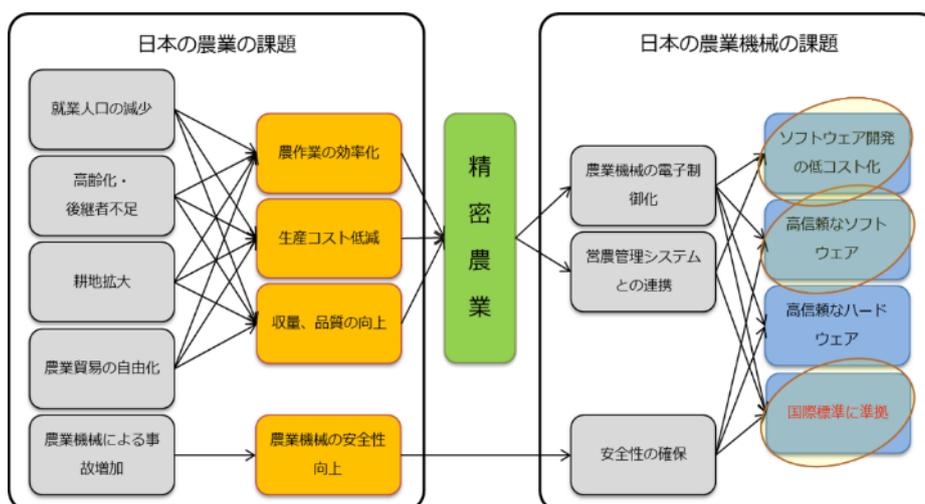


図 2-80 日本の農業・農業機械の課題

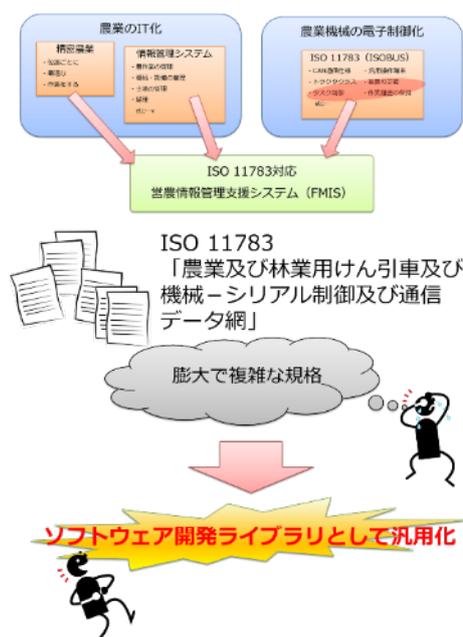


図 2-81 農業 IT 化のためのソフトウェア開発ライブラリ

図 2-82 は、FMIS ソフトウェアライブラリの概要図である。FMIS ソフトウェアライブラリは、Window や Mac OS X などの PC、あるいは Android、iOS などのタブレット端末上で動作する FMIS に組み込まれるものである。実際の FMIS 開発は様々なプラットフォーム上が想定されるため、それらのプラットフォームに依存しないライブラリとして提供することとする（図 2-82 の赤枠の部分）。この FMIS ソフトウェアライブラリは、FMIS のユーザインタフェースやデータベースと ISO 11783 のデータ形式の変換機能を提供する。また、ISO 11783 データ変換のための抽象化されたデータベースインタフェース、FMIS とトラクタ間の抽象化された通信インタフェースも提供する。

この FMIS ソフトウェアライブラリを利用することで、トラクタと FMIS 間のデータ交換を ISOBUS 化することができる。さらに FMIS をクラウド連携させることで、将来的にはトラクタとクラウド間の ISOBUS 化への拡張も視野に入れている。

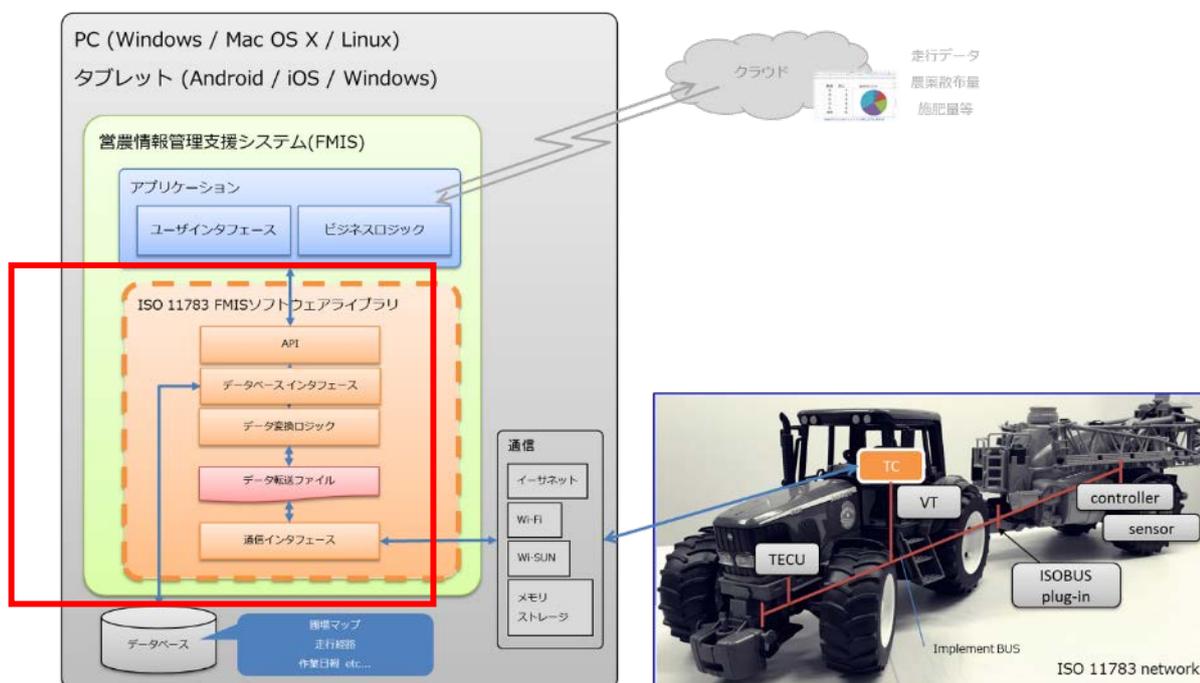


図 2-82 FMIS ソフトウェアライブラリ

(3) 実証用試作機開発の検討

ISOBUS 準拠の作業機を開発する最初の段階として、作業機も構成を「デバイス」として定義する。本来、デバイス定義は作業機メーカーが開発時に作成するものであるが、本研究では、実証用試作機としてトラクタ・作業機に見立てたモデルを検討している。規格は機械間の通信を定義するものであるため、最初の段階としてはモデルでも十分機能を実装・検証できると考えているためである。

図 2-83 は業界団体 AEF (Agricultural Industry Electronics Foundation) が提案するブームスプレーヤのデバイス定義の一例である。この例では、スプレーヤの子デバイス要素として、コネクタ（トラクタとスプレーヤの接続部分）、1つのブーム、3つのセクション（噴霧ノズル）で構成されている。コネクタには、トラクタの基点からの X 軸、Y 軸、Z 軸のオフセット値をプロパティとして設定し、その他のデバイス要素は、同様にコネクタの X 軸、Y 軸、Z 軸を基点としたオフセット値を設定する。タスクコントローラは、こ

の位置情報と GPS の位置情報からデバイスの位置を特定することができ、位置に合わせた制御を実行することができる。

Proposal for a Device Description Data with Section Control State.
Single boom sprayer. Boom represented by a device of type function

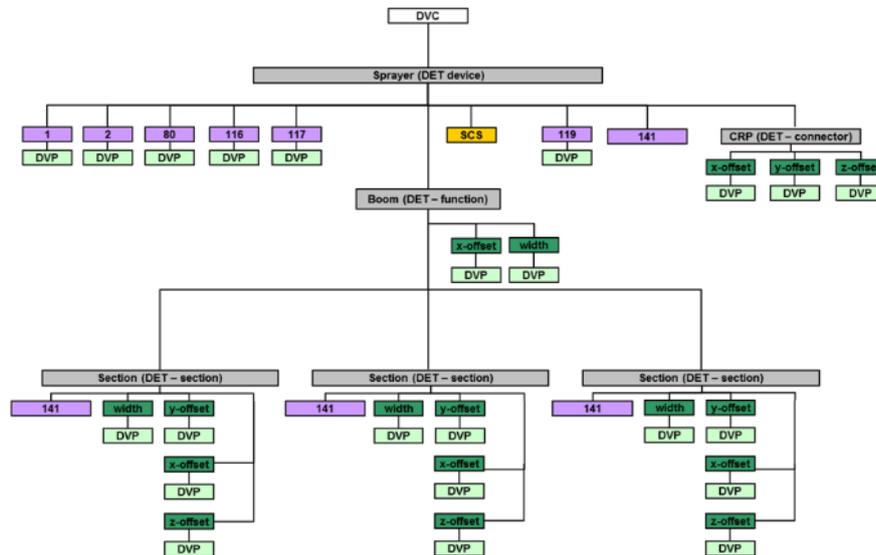


図 2-83 AEF のブームスプレーヤ例

本研究でのブームスプレーヤのデバイス定義をに図 2-84 示す。図 2-83 の AEF によるデバイス定義を基本とする。サブテーマ1や2の内容に応じて、タンクなどのデバイス定義を追加することも想定しているが、まずは基本となる最小構成で検討する。

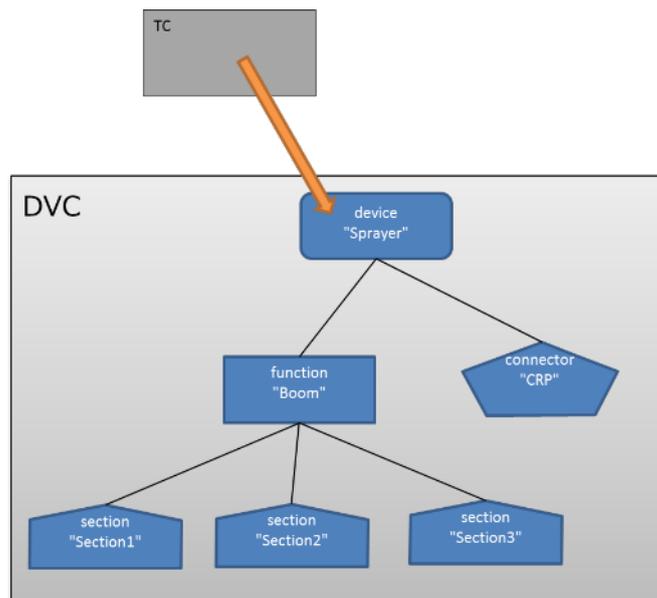


図 2-84 本研究でのデバイス定義の基本構成

また、本年度開発する FMIS ソフトウェアライブラリを動作検証する上で、このライブラリを使用する FMIS アプリケーションの試作版も用意した（図 2-85 の赤枠の部分）。

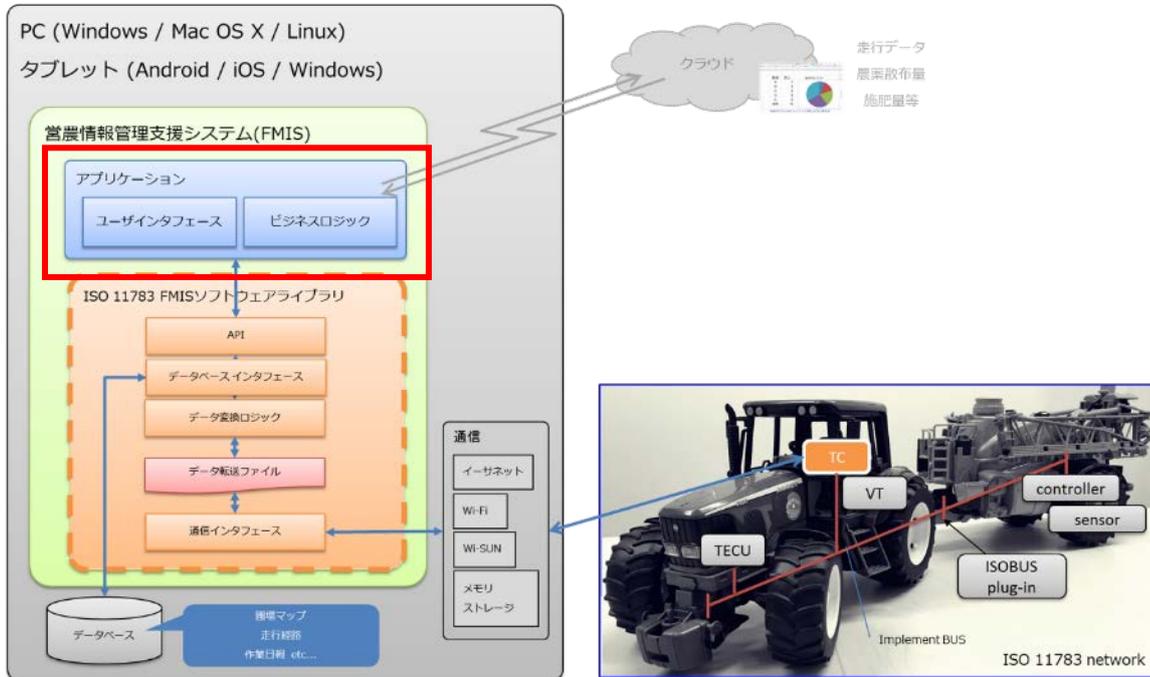


図 2-85 FMIS アプリケーションの試作

本来は営農情報管理システムのアプリケーション本体になる部分であるが、本研究では、ライブラリの動作検証という位置づけのため機能を確認できる最低限の簡易的なものとした。

FMIS アプリケーションの概要を図 2-86 から図 2-89 に示す。

図 2-86 の「圃場画面」では、地図上に対象とする圃場を定義する（オレンジの枠部分）。圃場名や作物の情報を管理する画面となる。

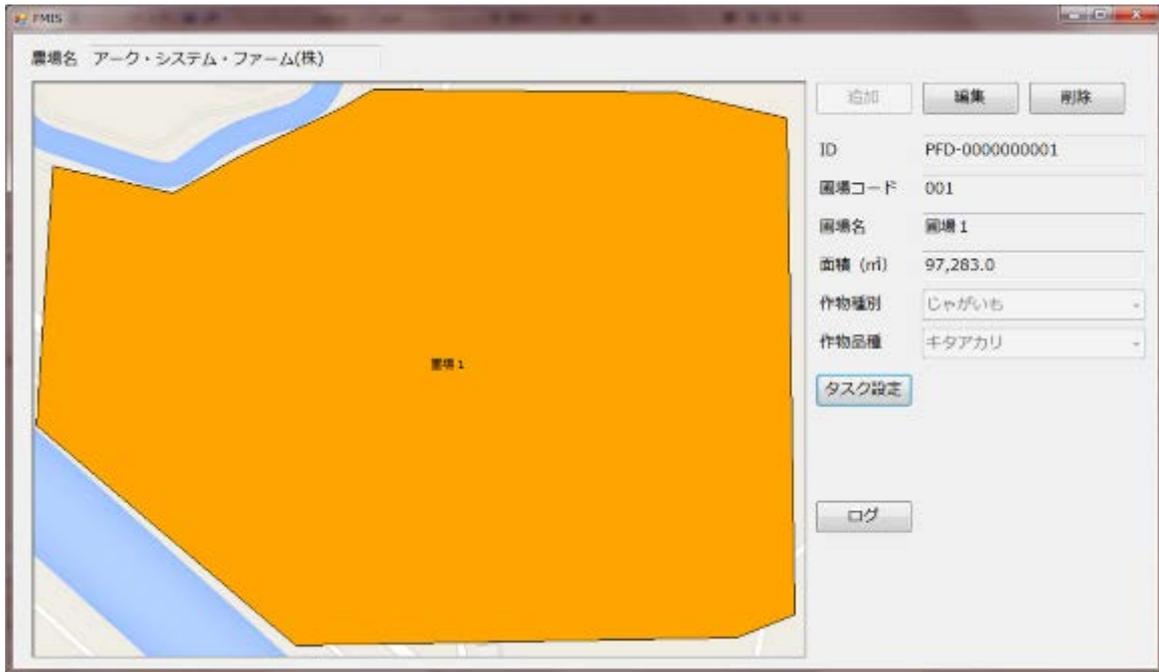


図 2-86 FMIS アプリケーション試作 (圃場画面)

図 2-87 の「タスク一覧画面」では、「圃場画面」で定義した圃場に対してのタスクを設定・管理する。この例では、農薬散布、肥料散布というタスクを定義している。

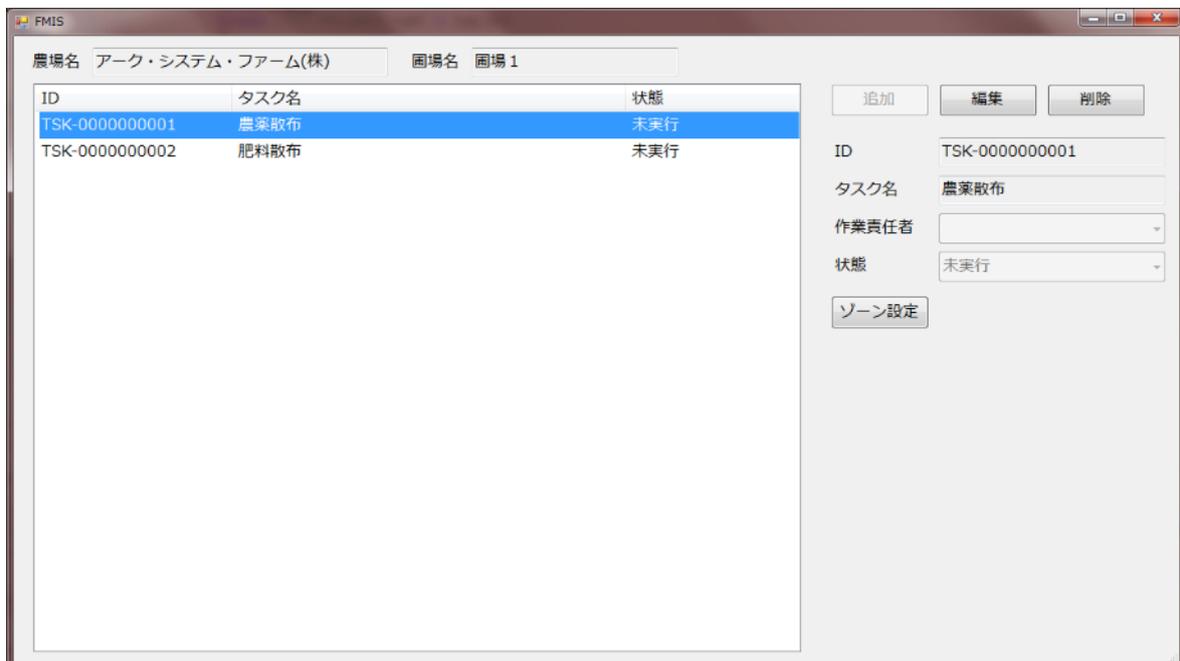


図 2-87 FMIS アプリケーション試作 (タスク一覧画面)

図 2-88 の「ゾーン設定画面」では、「タスク一覧画面」で定義したタスクに対してのゾーンを設定・管理する。圃場を任意のサイズに格子状のグリッドに分割する。各グリッドは GPS 情報が設定されている。この例では、散布量の異なる 3 つのゾーンを各グリッドに設定している（赤、緑、黄色のグリッド）。

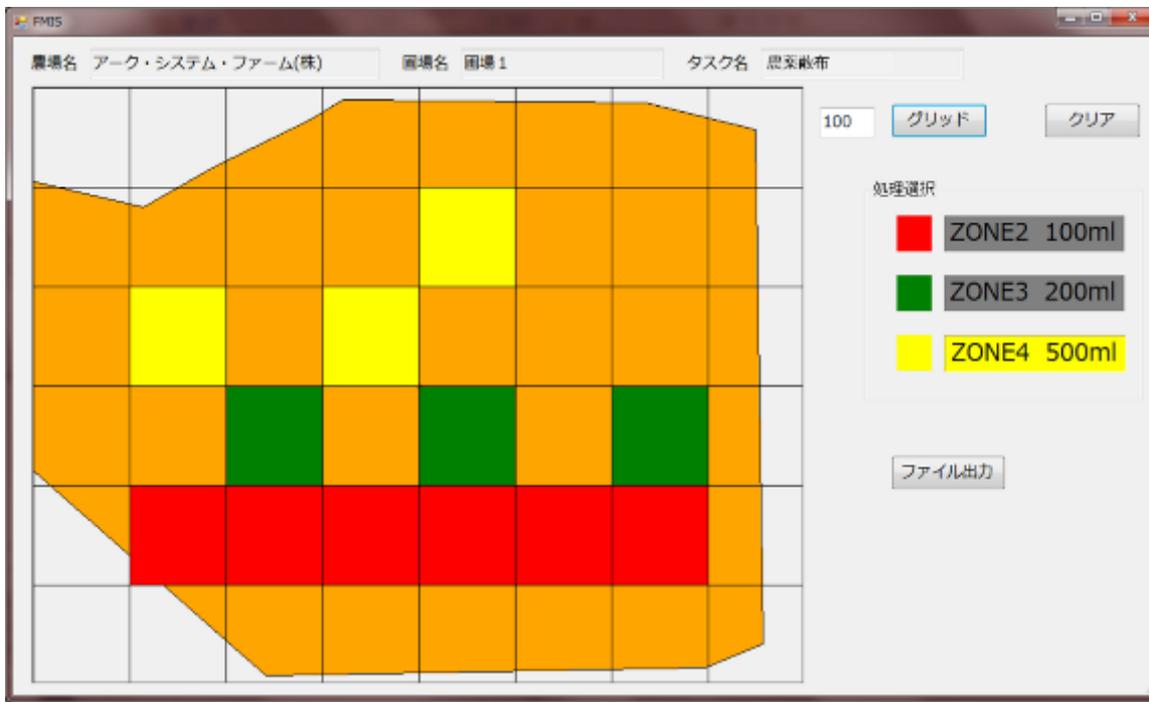


図 2-88 FMS アプリケーション試作（ゾーン設定画面）

こうして定義したタスクをトラクタ上のタスクコントローラへ送信することで、タスクコントローラは、GPS の現在位置から現在圃場のどの位置にいるかを判断し、該当する位置のグリッドの散布定義に従って作業機へ指示することになる（図 2-89）。

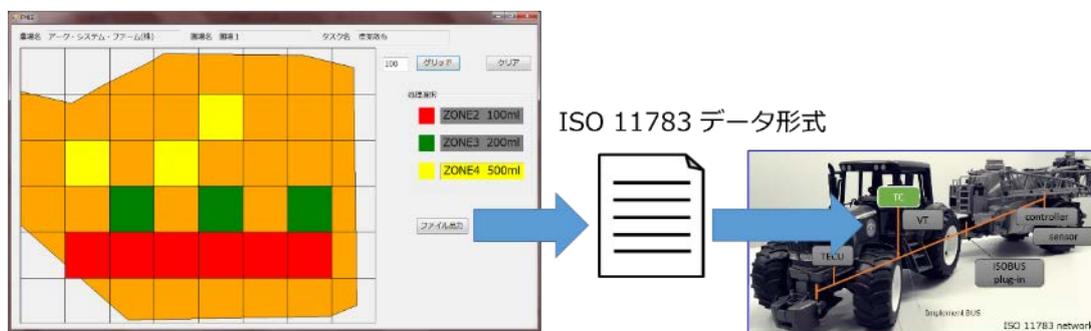


図 2-89 タスクデータによる作業機制御

[3] 欧州調査 アグリテクニカ視察

「アグリテクニカ (AGRITECHNICA) 国際 DLG 農業技術展 2015」

開催期間：2015 年 11 月 10 日(火)～11 月 14 日(土)

会場：ハノーバー国際見本市会場

出展社：2、897 社

アグリテクニカは2年ごとに開催される世界最大規模の農業技術展示会。ISOBUSに関する出展は60社。2日間にわたりこれらの各ブースの出展内容について視察することが目的。

AMAZONE社、TOPCAN社などの大企業から中小企業(と思われる)まで、多くのISOBUSに関する出展があった。そのほとんどはヴァーチャルターミナルのデモ展示やISOBUS通信ハードウェアの展示といったものであった。中には、農場管理システムの展示も数社あったが、その内部のISOBUS実装についての説明まではどこもなかった。

会場では様々な講演も行われていた。Farmers Edge社によるビッグデータに関する講演があったので参加したが、同社のこれまでの戦略の紹介、ビッグデータを活用することによる効率化・コスト低下など一般的な内容の紹介だけであった。

約30ある会場の内、1会場が「エレクトリック」部門としてIT系の展示会場となっていた。それ以外の会場では、実際の農業機械が多数展示されていた。トラクタやブームスプレーヤをはじめ様々な機械があったが、どれも想像以上に巨大なものであった。我々が想定しているブームに人が衝突するという発想自体、欧米の感覚と違うようにも感じた。

今回の視察で、欧州の農業規模の大きさを実感することができた。様々なメーカーが様々な種類の巨大で複雑な農業機械を開発していて、それらがISOBUSでされているというのが既に広く普及している点が、日本の事情とは大きく異なっている。また、精密農業については、数社の展示があったが、そのすべてがISOBUS準拠というものではなく、欧州でも今後ISOBUS化が進むという状況とのことで、本研究での取り組みも今後のISOBUS化の流れに合致していることが分かった。

また、日本の農業の中でも、北海道地域については、農業規模が他の地域よりは規模が大きく、欧州的な農業が向いているとされている。道内には先進的な農家も多く、海外の農業機械を導入している農家も多い。ISOBUSについての認識も高まりつつある状況とのことである。農家の視点では、圃場内の場所ごとの「可変施肥」技術への関心が高まっており、道内で導入が進みつつあるISOBUS対応農業機械と本研究で取り組んでいるISOBUS準拠農業情報管理システムを組み合わせることで日本国内の精密農業発展に貢献できるものであるということを確認することができた。

2-5-1 H28年度の実施内容

H28年度は事業化のために開発したプラットフォームを用いた実証を行い、また使い勝手を考慮の上ツール化などの開発環境の整備に注力し、実用性面での改善を行った。

【タスクと主担当機関】

- 1) 試作アプリケーション改良・テスト：(株)ヴィッツ
- 2) 応用 PC アプリ開発：アーク・システム・ソリューションズ(株)
- 3) フレームワーク化：(株)ヴィッツ

2-5-2 H28 年度の研究内容と成果

(1) 試作アプリケーション改良・テスト

開発した ISOBUS 通信ライブラリ等の機能を実証し、ユーザーとなる作業機メーカーからみて有用性を実感いただくためには、より製品に近い仕様での試作が必要であるということが、見込み顧客と考えられる作業機メーカーの方との意見交換にて判明した。

初年度～2年度目に用いていた試作ソフトウェアを動かす ECU で用いられている MCU は ARM 仕様のものであったが、実際に日本の作業機メーカーが多く採用しているものがルネサス製 MCU であること、デモ用に作成していた操作画面が現実的な操作仕様となっていないなどの指摘を受け、これを改良することとした。

そこでハードウェアとして Renesas Electronics 製 RH850 シリーズマイコンを搭載した ECU 基板へのポータリングを行い、動作確認を実施した。



図 2-90 今年度ポータリングを行った ECU 基板 (Renesas/RH850F1L 使用)

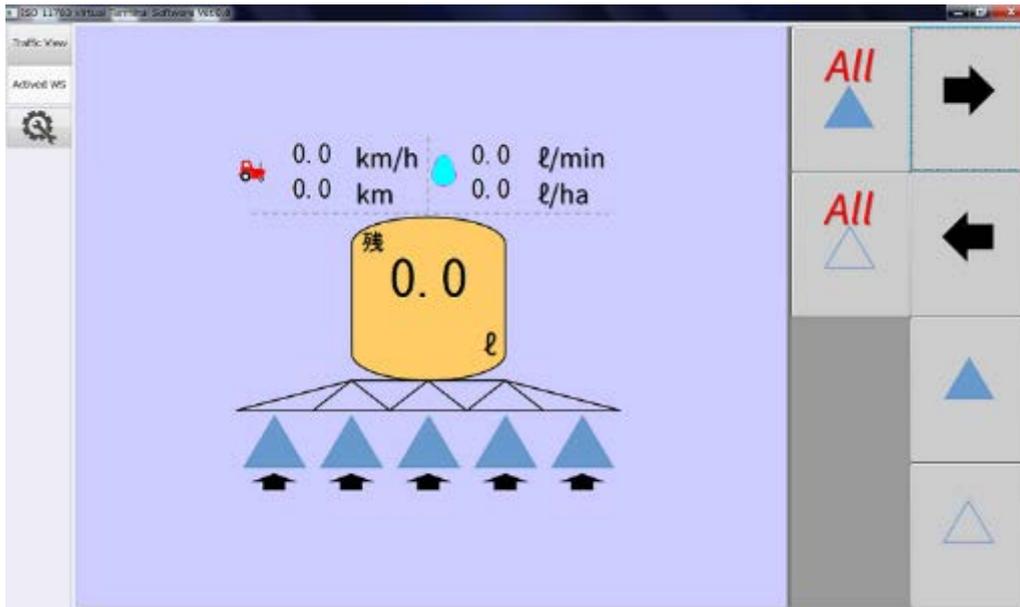
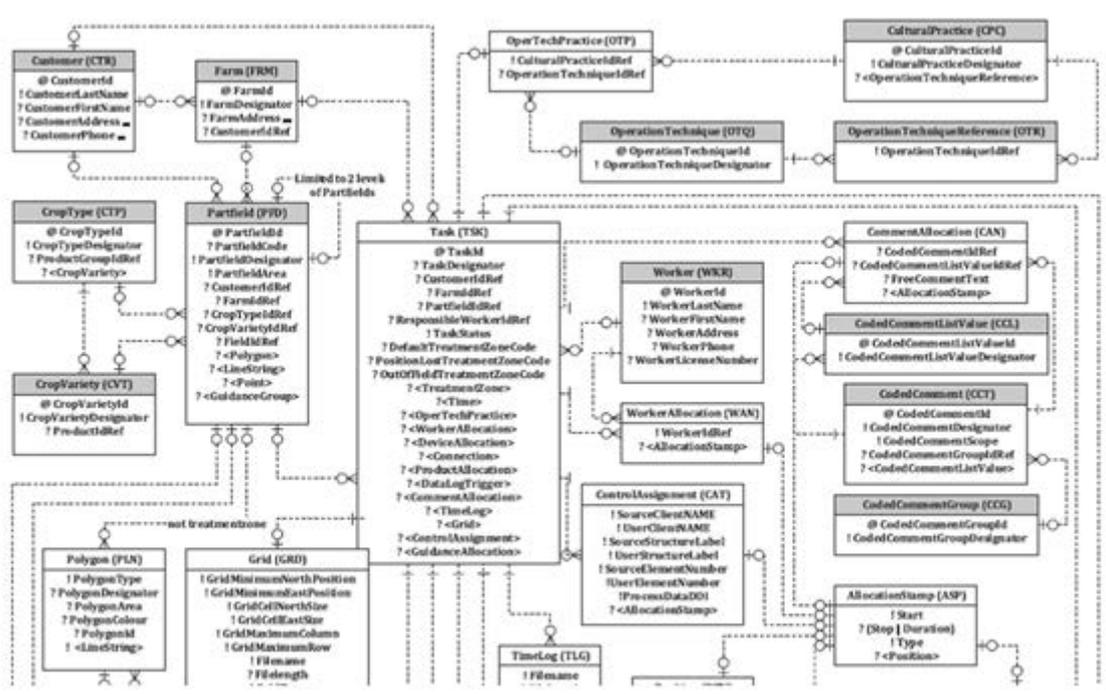


図 2-91 改良を加えた試作作業機 ECU 操作画面

(2) 応用 PC アプリ開発

開発した作業機 ECU 用 ISOBUS 通信ライブラリを用いることで可能になる機能にはタスクの自動記録や自動実行というようなものがある。これらの機能を用いることで高度な自動制御が利用可能になる。

しかしながら、これらの機能を実現するためには、パソコン上でタスクの計画を行うアプリケーションが必要となるため、ISO 規格で定められたフォーマットでタスクデータを汎用的に扱うことができるライブラリ (ISOXML ライブラリ) と、それを用いて簡易にタスクデータを作成するためのデモアプリケーションを開発した。



※引用元 : ISO 11783-10:2015

図 2-92 ISO で定められた標準タスクデータ構造図

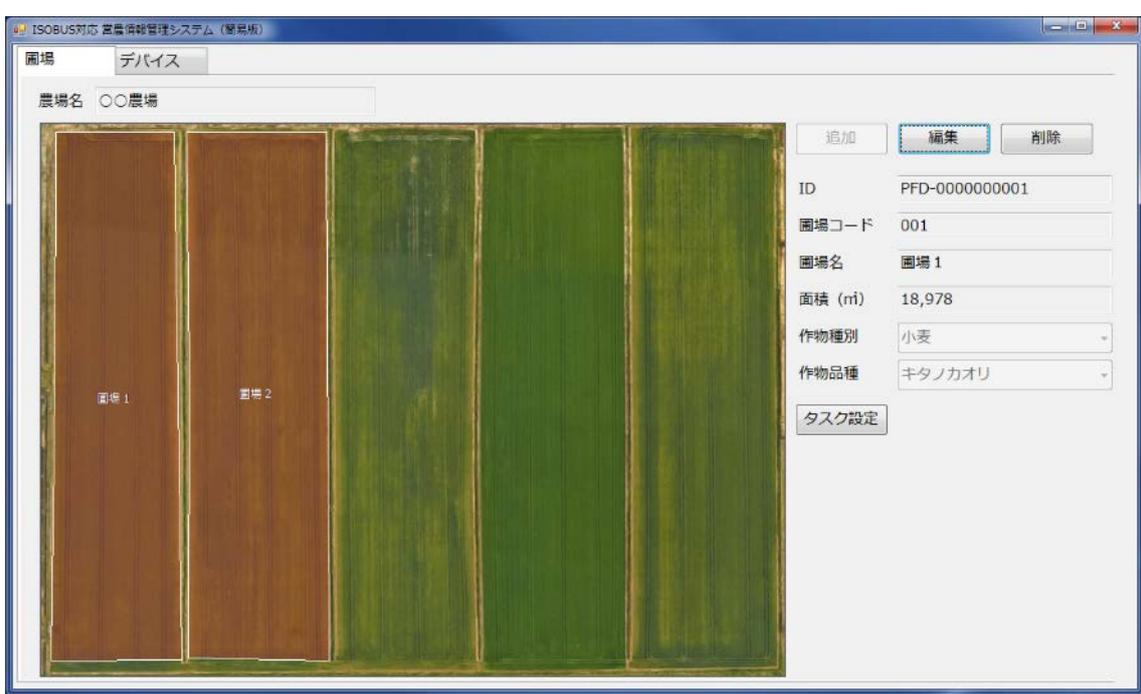


図 2-93 開発した簡易タスクデータ作成ソフトウェアの圃場設定画面

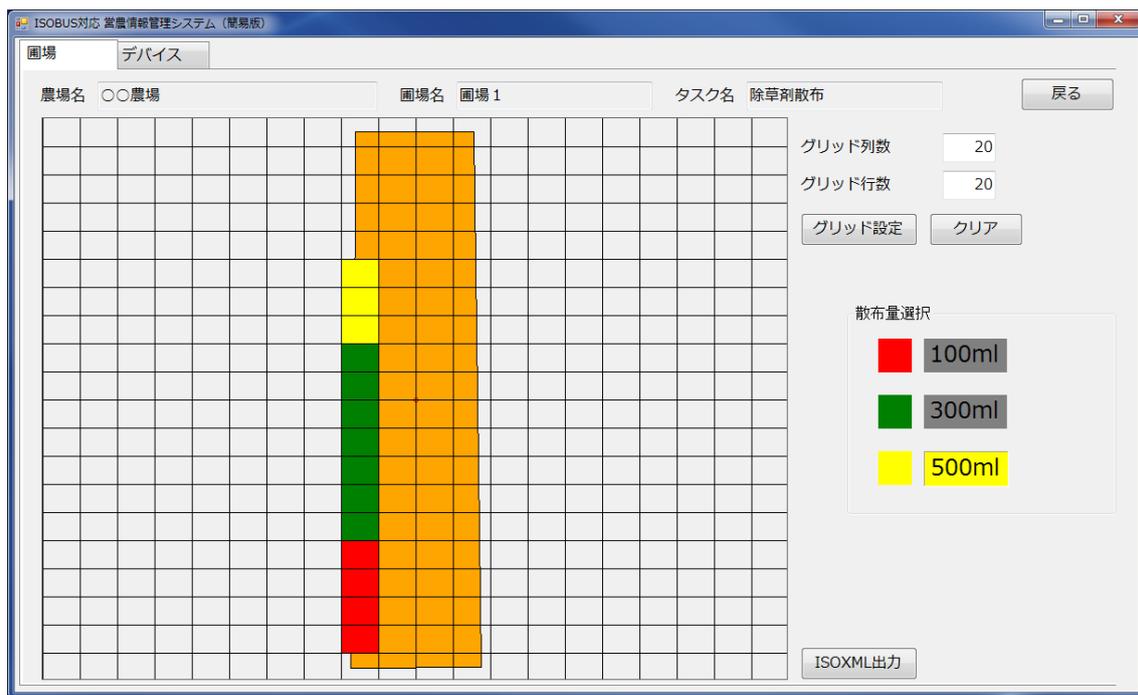


図 2-94 開発した簡易タスクデータ作成ソフトウェアのゾーン設定画面

(3) フレームワーク化

ISOBUS 通信ライブラリが有っても、実際にそれを用いてアプリケーション開発をするには、操作画面の定義情報の作成、通信ライブラリを個別作業機のアプリケーション用途に合わせて仕様するための設定作業、対 VT との通信・操作の動作確認等の作業が必要であり、実際に作業機 ECU を開発するには、それらの作業を軽減するツールが必要であるということが判った。

その為、VirtualTerminal 操作画面定義ツール、ISOBUS 通信ライブラリ設定ツール、ISOBUS 通信動作確認ツールを開発し、これらを ISOBUS 通信ライブラリと合わせて提供できるようにした。

また、ISOBUS ガイドラインへの準拠性を確認するためのテスト環境として、NI TestStand および CertTech ISOBUS Test Interface を導入した。これにより ISOBUS ガイドラインへの準拠性の確認作業を効率的に実行することができ、試験サービスなども提供できるようになる。

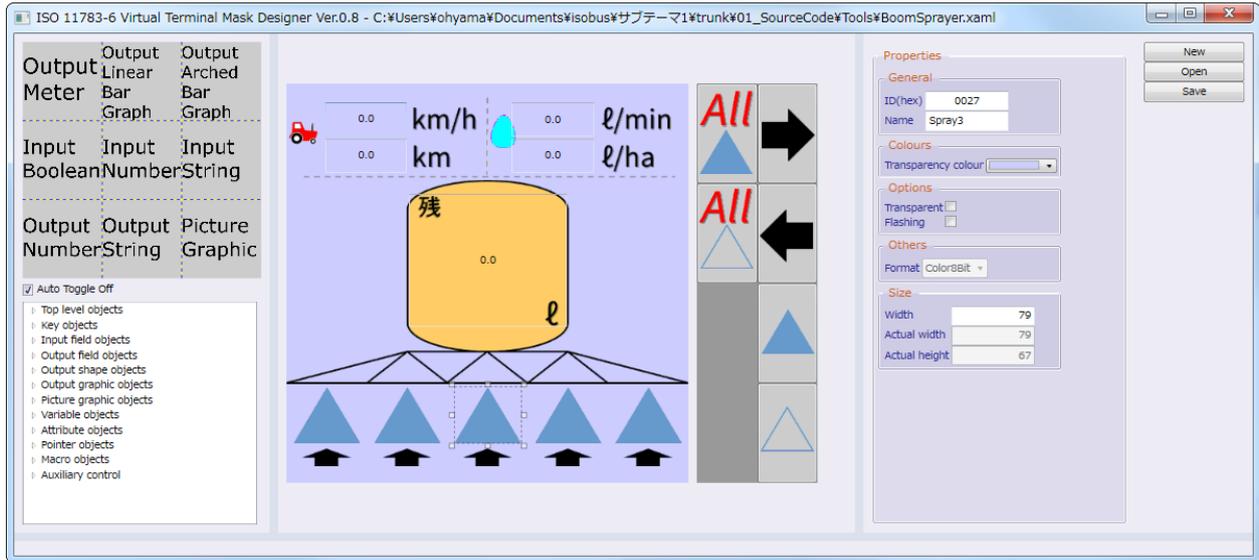


図 2-95 VirtualTerminal 操作画面定義ツール

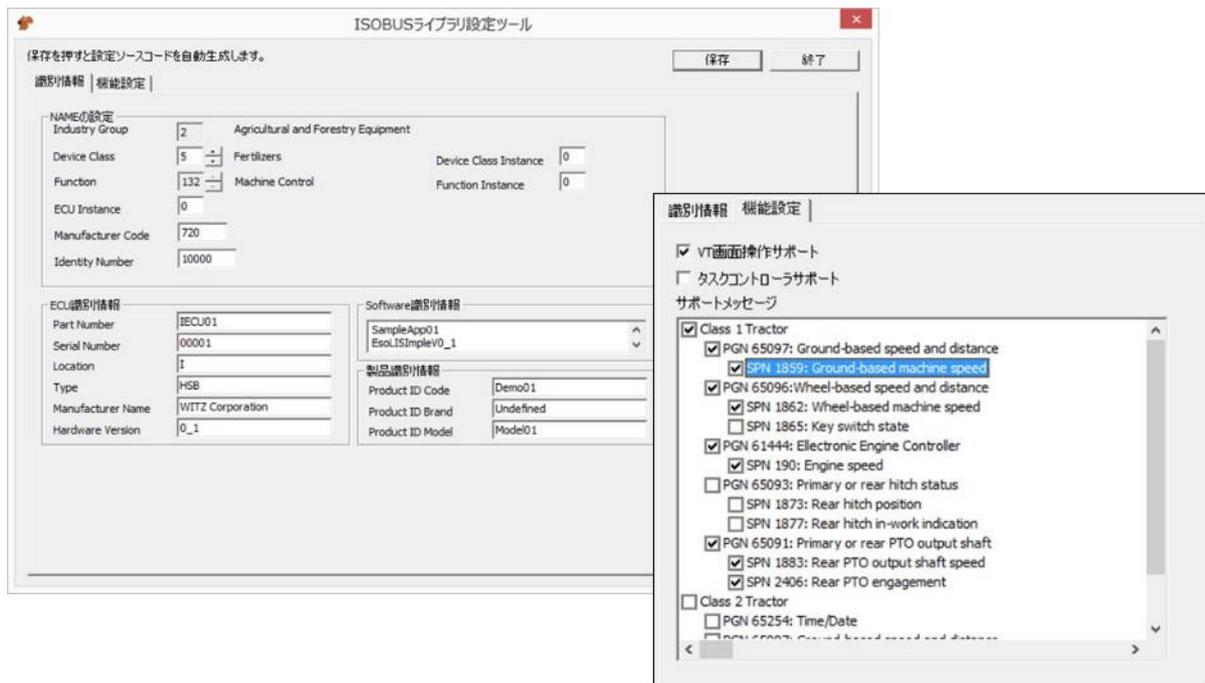


図 2-96 ISOBUS 通信ライブラリ設定ツール



図 2-97 ISOBUS 通信動作確認ツール



図 2-98 ISOBUS テスト環境(CertTech ISOBUS Test Interface)

第3章 全体総括

3-1 複数年の研究成果

3年間の研究開発・3つのサブテーマ活動を通じた、事業化に寄与すると思われる主な成果物として以下のようが挙げられる。

(1) 農業機械用ソフトウェアプラットフォーム

1) 作業機向け ISOBUS 通信プロトコルスタック

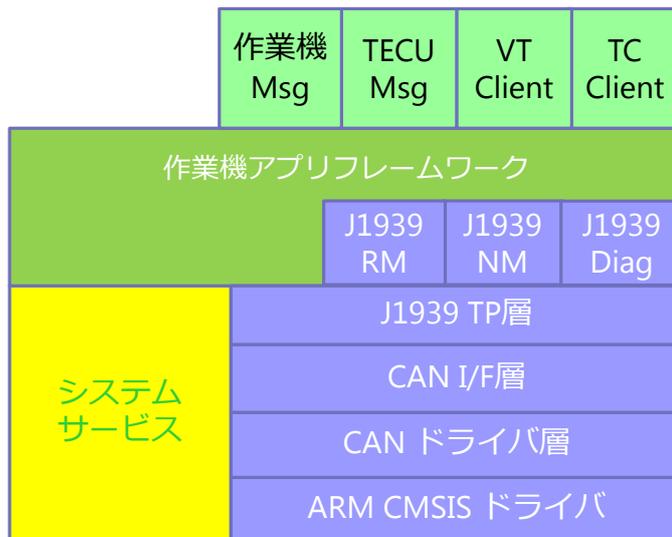


図 3-1 開発した ISOBUS 通信プロトコルスタックのコンポーネント構成図

2) CAN/Ethernet Gateway

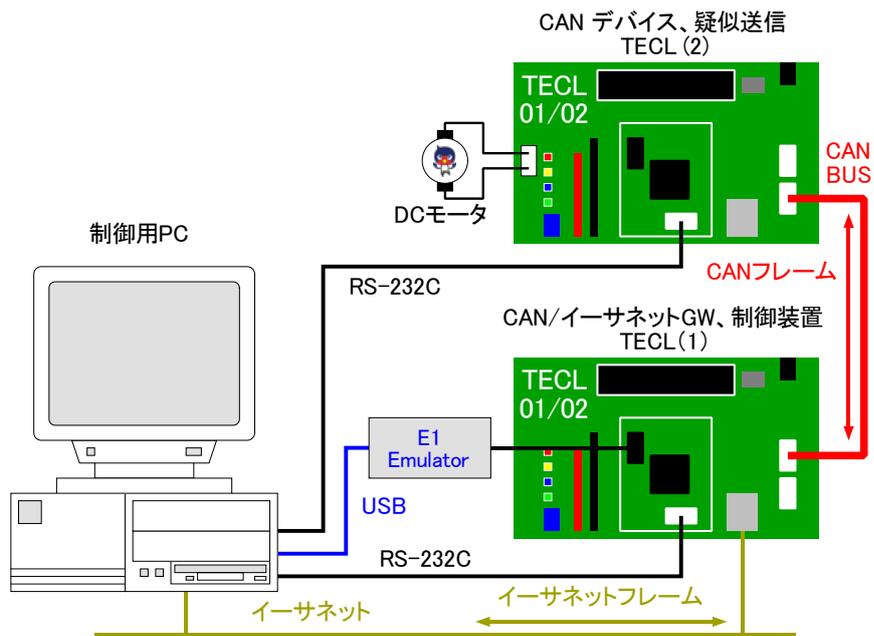


図 3-2 開発した CAN/Ethernet Gateway の実証環境構成

3) 試作リアルタイム画像処理 SoC FPGA



図 3-3 試作に用いたステレオビジョンカメラ

(2) アプリケーション開発プラットフォーム

1) 自動実行タスク計画(FMIS)データ入出力ライブラリ

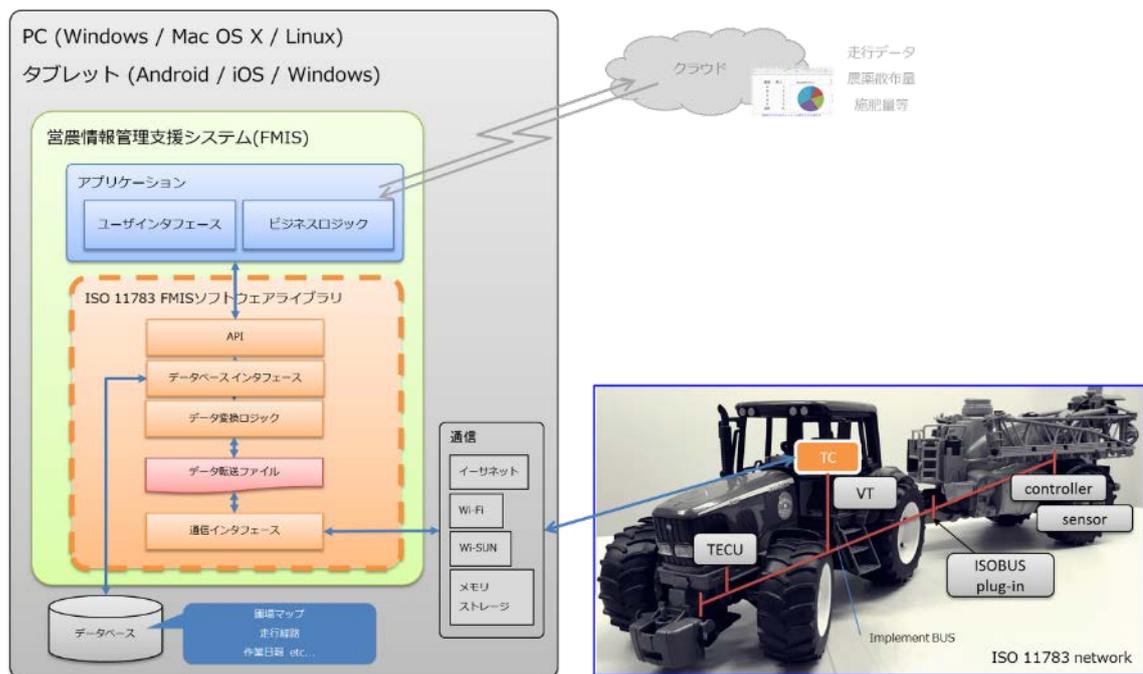


図 3-4 開発した自動実行タスク計画(FMIS)データ入出力ライブラリ

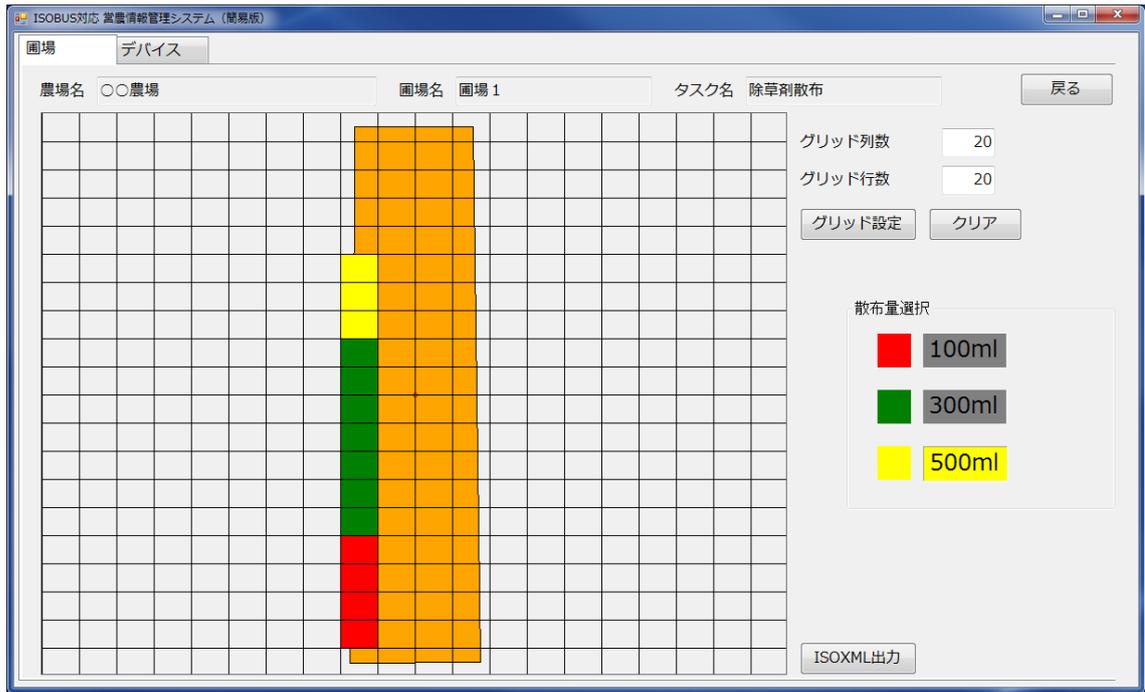


図 3-5 FMIS データ入出力ライブラリを用いた実証用試作作業計画アプリ

2) ISOBUS VT 対応操作画面編集ツール

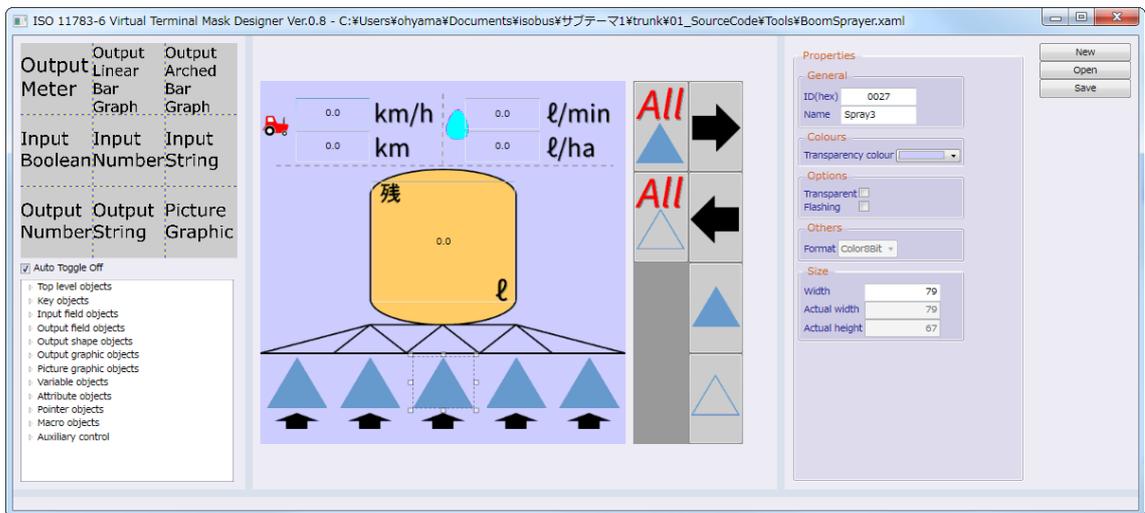


図 3-6 開発した操作画面編集ツールの画面例

3) 作業機 ECU 動作確認用 VT シミュレータ



図 3-7 開発した ISOBUS 対応作業機 ECU の動作確認用 VT シミュレータの実行例



図 3-8 開発した動作確認用プロトコルアナライザツール

(3) 農業機械機能安全対応フレームワーク

1) セミフォーマル記法を活用した機能安全開発の効率化フレームワーク

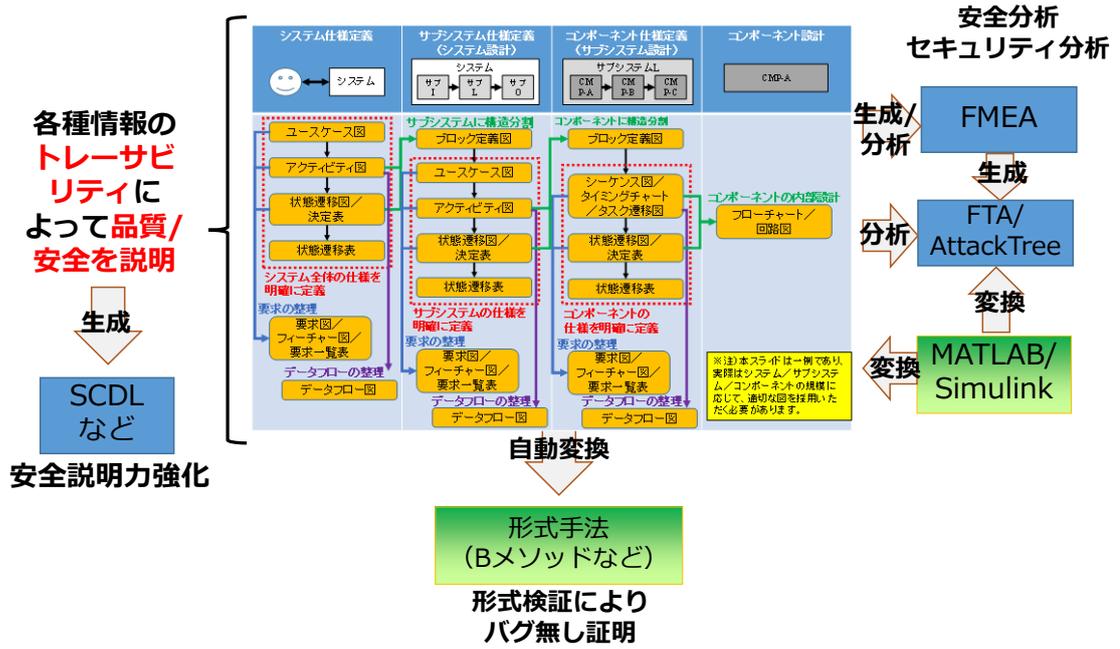


図 3-9 考案した機能安全対応効率化のための開発フレームワーク

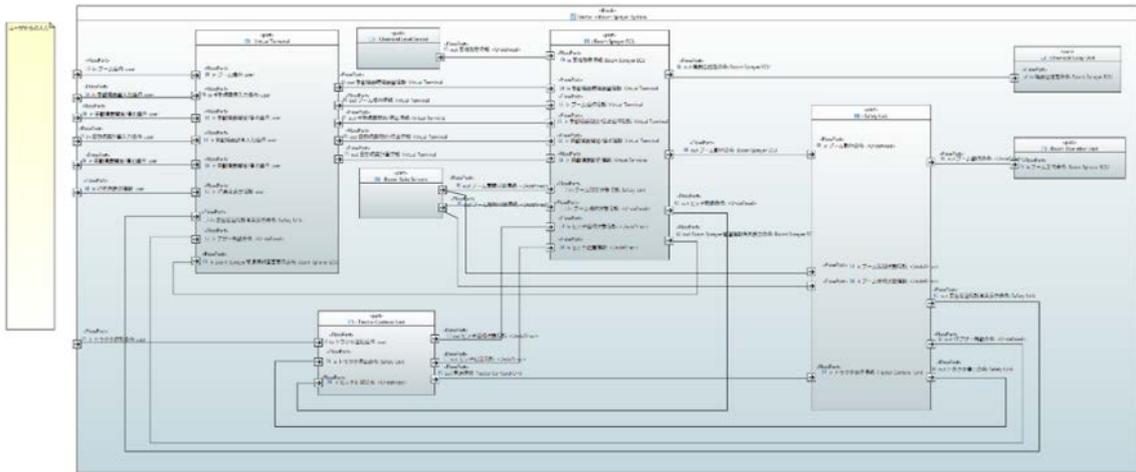


図 3-10 実証デモアプリ開発から得られた安全ユニットのリファレンス設計

2) 故障検出ライブラリ

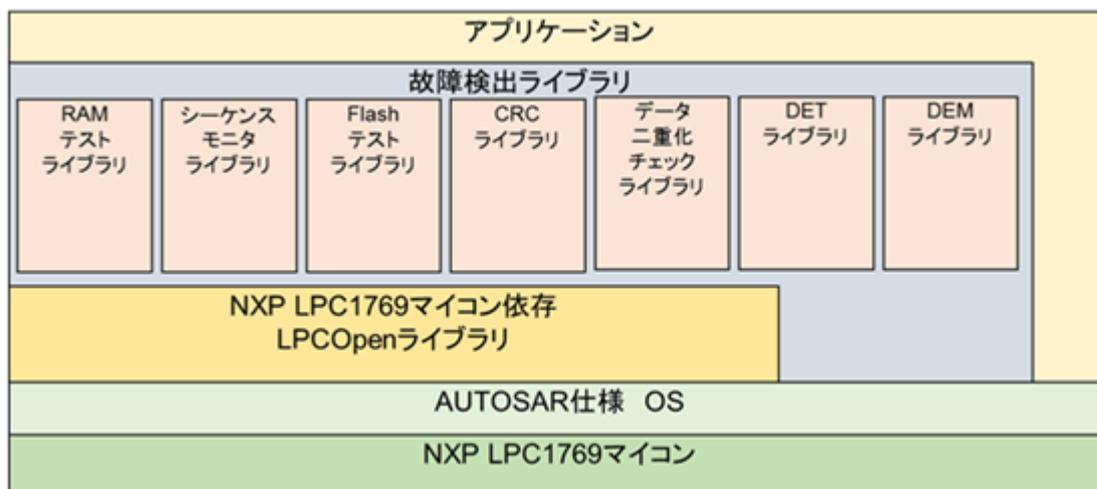


図 3-11 開発した故障検出ライブラリのコンポーネント構成

3) プラットフォーム高信頼化のための検証モデルプロトタイプ

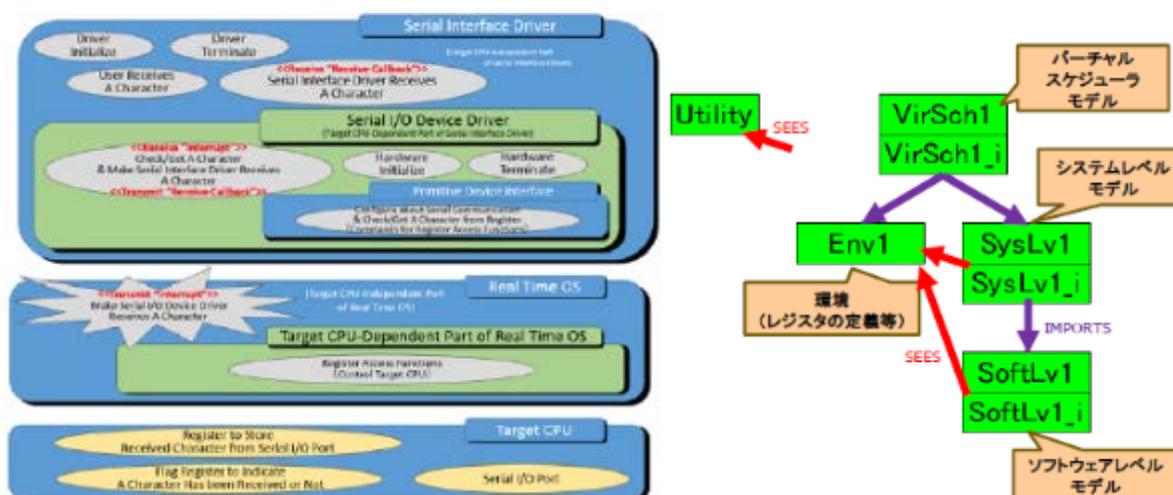


図 3-12 開発したプラットフォーム検証のためのモデルプロトタイプ

3-2 研究開発後の課題

3年間の当研究事業における開発により、基本機能を備えた農業機械開発プラットフォーム・フレームワークが得られたが、実製品への適用を経た仕様・性能・使い勝手の改良が必要なものと考えられる。これらに取組みつつ事業化に取り組む。

3-3 事業化展開

【事業成果が寄与する具体的なユーザー・マーケット・市場規模】

本研究の活用による経済効果は226億円/年（海外技術導入費:190億円/年、国内市場活性36億円/年）程度の経済効果を生み出す能力がある。さらに、農産物の貿易自由化による競争力低下見込み3.0兆円/年の競争力維持、およびASEAN地域への農業機械輸出競争力向上による輸出増加として6兆円/年程度の競争力向上に寄与する。

我が国の農業は就農人口の低下・高齢化、比較的小規模な農営、農業機械の多種多様化、低機械利用率、散布薬剤費用増大などの問題により、その生産コストが他国と比較して異常なまでに高額である。稲作生産コストにおいては日本の生産コストを100とすると、米国は31%、中国においては僅か9%である（農林水産省 米の生産コストの現状）。このコスト差を縮めなくては日本の農業に明日は無い。

一方、農業機械の代表であるトラクターの国内年間稼働時間は僅か 59 時間である。四季のある日本では農業機械を利用する時期が集中（時期をずらすと収穫が減少する）するため、各戸で機械を保持する必要があるためである。この条件があるにしても数千万程度のトラクターが年間 60 時間程度しか稼働しないという現状は、コスト増の大きな原因である。

そこでトラクターに連結する作業機を電子化することにより散布費用等のコストダウン・収穫高向上を試み、生産コスト削減を図る

農業機械の電子化をすすめるにあたり、欧米の制御装置を導入することにより実現することも可能である。しかし、技術導入費およびツール購入費などの費用で年間 190 億円程度の海外流出が見込まれる。一方、本研究成果等を活用した国内技術を活用することにより、年間 36 億円の国内経済活性が見込まれ、その差 226 億円程度の経済効果がある。

<算出方法>

2013 年のトラクター国内生産台数は 45、000 台（日農工調べ）

	欧米技術の導入			国内技術の導入		
	価格(千円)	数量	小計(千円)	価格(千円)	数量	小計(千円)
ツール費用	3,000	20 社	60,000	100	20 社	2,000
技術導入	購入費	3,000	20 社	ほぼオープンソース	20 社	0
	サポート	必要	20 社	高額	20 社	30,000
	開発支援	必要	20 社	高額	20 社	0
ライセンス費	10	2 個（前後） x 45,000 台	900,000	10	2 個（前後） x 45,000 台	900,000
機材購入費	200	2 個（前後） x 45,000 台	18,000,000	30	2 個（前後） x 45,000 台	2,700,000
合計			19,020,000 (約 190 億円)			3,632,000 (約 36 億円)

<ASEAN 等地域への農機輸出>

ASEAN 地域の農業は日本と同じく小規模農営であり日本の農業機械導入が見込まれる地域である。また、農業の機械化が急速に進んでいるインドなどを含め、国産農業機械の有力な輸出先として考えられる。

これらの地域での農業機械市場の算出として、インドは 2010 年におよそ 24 百万台のトラクターを購入しており、小型トラクターの平均金額 5 百万円としても 120 兆円の市場規模である。これに ASEAN 地域等の市場を 5 倍と想定すると 600 兆円規模の市場が期待できる。本研究成果が日本の農業機械競争力を 1%上昇したとして、6 兆円規模の海外輸出効果が期待できる。

農林水産省 米の生産コストの現状

○ 日本、米国、中国の生産コスト比較（試算）

	日本 (2006年)	アメリカ (2004年)	中国 (2004年)	
	生産費課産3ha以上 水稲平均作付面積5.8ha	カリフォルニアの 稲作経営の事例 経営面積283ha (水稲単作)	日本比	1,553地域の 6万戸以上の 農家 (うちジャボニカ稲) 日本比
物財費	579,380	180,818	31%	52,997 9%
種苗費	22,280	7,778	35%	3,348 15%
肥料費	72,880	21,899	30%	18,080 25%
農業薬剤費	66,520	28,122	42%	5,728 9%
光熱動力費	38,320	14,958	39%	264 1%
土地改良及び水利費	65,500	16,035	24%	7,001 11%
生産管理費	3,190	8,496	266%	1,320 41%
その他諸材料費	18,350	1,316	7%	1,616 9%
賃借料及び料金	69,810	39,251	56%	0 0%
物件税及び公課諸負担	18,270	6,941	38%	3,403 19%
雑物費	27,790	1,556	6%	0 0%
自動車費	17,450			
農機具費	159,020	34,464	20%	12,236 7%

<新市場への展開>

商用車への ISO-BUS 適応が可能である。商用車の電装部品製造販売を手がけるアドバイザ企業を通じ、商用車への事業展開を積極的に進める。

【事業化見込み】

農業機械製造販売も手がけるヤマハ発動機においても、農業前機械と後ろ機械の連携のための ISOBUS や機能安全 ISO25119 に対応を迫られているにも関わらず、製品開発を優先するために、これらの対応には手が回っていない。これら次世代農業機械に必要な対策は熱望されている。

<事業化に向けた基本方針>

我が国の農業市場は、海外の低コスト農業生産品と競争にさらされつつある。現日本の農業生産コストは他国比 3 倍から 10 倍程度の高生産コストであるため現状は競争できない。そこで農業機械の高度化による生産コスト削減効果は大きな課題対策のひとつである。

また、海外の高度化技術を導入も可能であるが、導入コストが高く、また、技術的課題も多いため、理想的な高度化が実現できないことが懸念される。そこで国内の農業機械電子化技術を高めることが我が国の農業機械政策上重要である。

<川下企業のニーズの現状と対応方針>

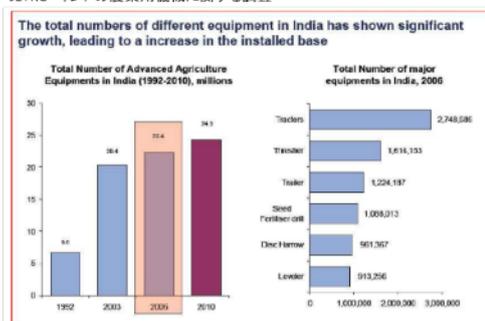
農業機械の高度化の必要性を機械メーカー各社は理解しているにもかかわらず、電子化による高度化は進展していない。この理由として対策コストの回収課題と対策技術不足が挙げられる。このような状況を打破するため、独立行政法人農業研究機構が電子化に向けた搭載用コンピュータを安価で提供するための研究開発を終えている。この成果に本研究成果を掛け合わせることにより、国内技術を活用した高度化が実現でき、国内機械メーカーも熱望している基盤が完成する

<市場および販売戦略>

次世代農業はインターネットやクラウド技術を活用し、生産性向上・作業連携・育成管理などが実現する。すなわち、農地の農業工場化が実現すると予測される。そのためには、農業機械の電子化を促進させる技術進化と他国技術に頼らない国内技術の成長が不可欠である。

一方、これらの次世代農業機械はアジア地域への農業機械輸出を見込むことができる。そのために高度化された小規模農営に合致した農業機械製品を提供し、さらに欧米と比較して競争力のある製品提供による魅力的な市場形成が可能である。

JETRO インドの農業用機械に関する調査



具体的な戦略としては、ヴィッツの営業パートナーである菱電商事を介して農業機械メーカーに ISOBUS 対応ソリューションの提案を行う。菱電商事の強力な販売網を活用することで農業機械メーカーへの研究開発成果の販売や製品開発支援が可能となる。また、本研究アドバイザであるヤマハ発動機が研究を進める農業支援機械への採用を試み、本研究の本格導入をねらう。自動車向けリアルタイム OS および機能安全支援の国内トップ企業であるヴィッツのノウハウを活用して農業機械の電子化促進を加速する支援が可能であると考えられる。

さらにアドバイザである国内自動車サプライヤーは海外での事業展開にも長けており、アドバイザ企業の海外連携ネットワークを活用することにより、アジア地域への積極的な販路開拓が実現可能である。インドなどを含むアジア地域の潜在的な市場規模は膨大であり、インドの 2010 年におけるトラクター導入台数は 24 百万台であり市場規模は 120 兆円規模と推察できる。これにアジア地域の潜在市場を加味すると 600 兆円規模の市場が見込まれ、この市場で我が国農業機械が優位的に市場を占めることができれば、当該市場の魅力は計り知れない。

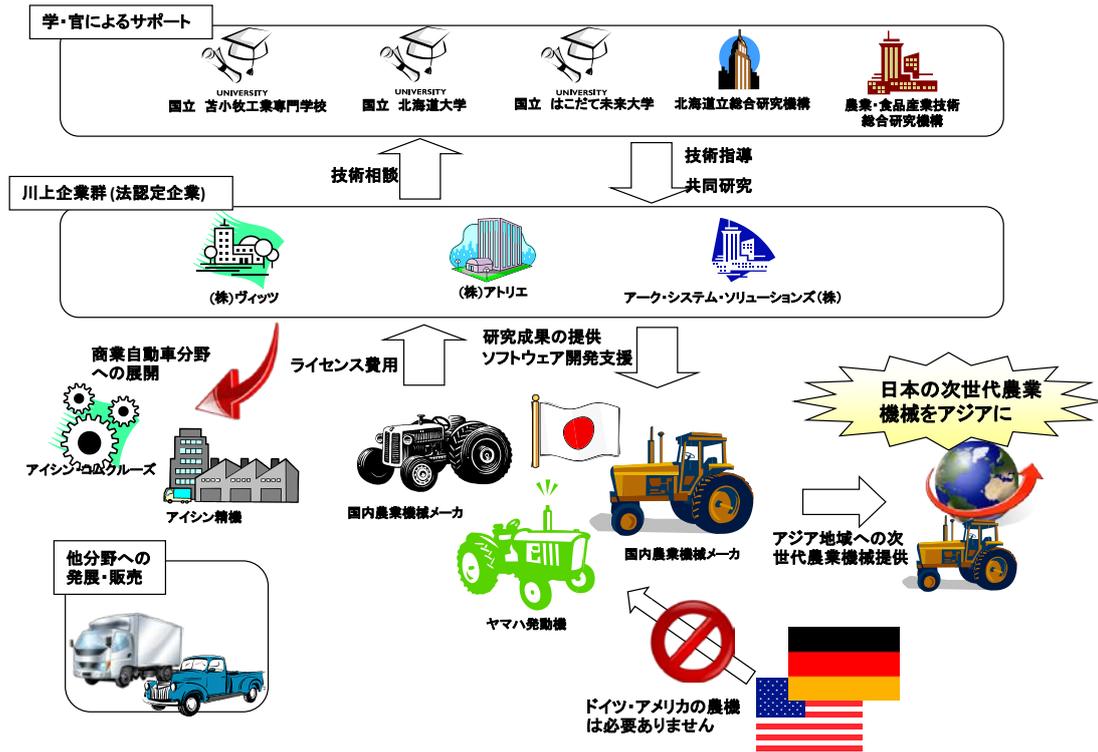
<事業化の波及効果>

高度化の核技術となる ISOBUS は農業機械ばかりでなく商用車への適用が可能だと考える。日本の商用車制御は本研究アドバイザであるアイシン精機は古くから手がけており、アドバイザ製品への適用から商用車分野への波及を試みる事が可能である。また、ISO 25119 への準拠は、今後、国内外の農業機械開発で対応が要望される機能安全規格であり、この対応支援事業も大いに期待できる。

<農業機械電子化を実現する基盤ソフトウェアの利用想定>

効率的農業生産を行い、省生産コストを実現するすべての農業機械製品に適用可能である。すなわち、農業機械の動力機械であるトラクター、作業を行う作業機械（耕耘・整地機械、耕土機械、施肥機械、播種機械、防除機械、収穫機械）などの機械装置が対象となる。これら機械の高度化に本ソフトウェア基盤を活用し、来るべき次世代農業経営を機械技術側面から支える基本基盤として利用される。

<事業化体制図>



【事業化遂行方法・スケジュール】

製品等の名称	ツール販売					
開発事業者	アトリエ、アーキ・システム・ソリューションズ					
想定するサンプル出荷先	ヤマハ発動機、北海道農業機械メーカー					
スケジュール	年度	H29年度	H30年度	H31年度	H32年度	H33年度
	サンプルの出荷		●→			
	追加研究	●→				
	設備投資					
	製品等の生産			●→		
	製品等の販売		●→			
売上見込	売上高 (千円)	0	200	800	1,000	2,000
	販売数量 (単位を記載)	0	2	4	10	20
売上高の根拠	<p>研究終了後の2年度までは追加研究およびサンプル出荷を実施する。この期間に研究アドバイザーである <u>ヤマハ発動機</u> などの協力を得て、試験的にツールを活用した <u>パイロット製品開発</u> を行い、国内機械メーカーが容易に開発し易い <u>開発環境実現を追求するツールに改良</u> する。</p> <p>その後、ヤマハ発動機をはじめとする国内の農業機械メーカーへの販売を開始し、半数の国内主要機械メーカーへの提供を実現するための営業を行う。営業はヴィッツの営業パートナーである <u>ルネサス系販社「菱電商事」</u> などの <u>販売強力</u> を得て実施する。幸い当研究成果のようなツールは要望されているものの、その市場規模が自動車分野等と比較し小さいため <u>類似ツールは無い</u>。そのような理由から市場開拓は比較的スムーズであると考えられる。</p> <p>販売価格は国内農業機械メーカーの利益なども高くないことから、比較的销售価格を低く抑え <u>100千円程度</u> とする。</p>					

	一方、販売数計画の妥当性として、今後、農業機械の電子化は必ず進むことが見込まれ、国内機械メーカーのおよそ 半数社 への提供計画は妥当な計画である。
--	--

製品等の名称		技術支援				
開発事業者		ヴィッツ、アトリエ				
想定するサンプル出荷先		ヤマハ発動機、北海道農業機械メーカー				
スケジュール	年度	H29 年度	H30 年度	H31 年度	H32 年度	H33 年度
	パイロット支援					
	追加研究					
	製品等の販売					
売上見込	売上高 (千円)	1,500	3,000	7,500	15,000	30,000
		<p>次世代農業機械の実現は、現状のメカ・油圧・ギア制御から、電子装置を利用した電子制御化が進まなくてはならない。一方で電子装置を利用した開発は組込みコンピュータ制御 特有の技術が必要 である。しかし、組込みコンピュータ制御の経験が無い企業にとって 大きな課題 であり、結果として 電子化を阻んでいる。</p> <p>本研究で開発するツールは組込みコンピュータ制御の 経験を有しない企業においても容易に電子化技術を活用 した次世代農業機械開発を支援するツールである。</p> <p>一方で、対話的作業により組込みソフトウェア開発支援実現しても、詳細な制御、不具合発生時などの対処は難しい。</p> <p>そこで、ツール活用支援やソフトウェア開発支援、基盤ソフトウェアやミドルウェアの 技術サポートは次世代農業機械普及の重要なポイント となる。</p> <p>このサポート事業は、研究事業終了後に ヤマハ発動機に向けたパイロット支援 を行い、このパイロット開発を活用し 次世代農業機械製品の ISO 25119 製品認証を取得 する支援活動を計画する。その後、国内の農業機械メーカー向けに正規支援事業として事業化計画する。</p> <p>支援事業は前述のツール同様、必ず必要となるサービスであるため、20 社程度への支援計画は妥当である。</p> <p>尚、株式会社ヴィッツは過去のサポイン事業で実施した「機能安全」に関する研究事業で、機能安全に関する コンサルおよび技術支援事業を立ち上げ ている。研究終了後 4 年で 4.7 億円の売上実現 する事業に育てており、本技術支援事業も同様の育成が実現できる。</p>				

製品等の名称		ライセンス販売				
開発事業者		ヴィッツ、アトリエ、アーキ・システム・ソリューションズ				
想定するサンプル出荷先		ヤマハ発動機、国内農業機械メーカー				
スケジュール	年度	H29 年度	H30 年度	H31 年度	H32 年度	H33 年度
	特許出願					
	出願公開					
	ライセンス付与					
	ライセンス付与 台数	0	50 x 2	5,000 x 2	15,000 x 2	45,000 x 2
売上高 (千円)	0	1,000	100,000	300,000	900,000	

<p>売上高の根拠</p>	<p>次世代農業機械の電子化に必要な基盤ソフトウェアとミドルウェアは <u>ライセンス販売</u> とする（海外メーカーの同種ソフトウェアもほぼ <u>同額でのライセンス提供</u> が予想される）。</p> <p>同額でのライセンス費用が妥当な根拠として、本研究成果ソフトウェアは <u>ISO 25119 対応を予定</u> しており、この対応は <u>他社製品では実現できていない</u>。仮に海外メーカーの製品が ISO25119 対応を実現した場合の <u>ライセンス費用は数十倍となることが予見</u> される（<u>自動車・航空宇宙分野</u> の機能安全対応製品は、<u>機能安全未対応製品の数十倍程度の費用</u> である）。</p> <p>このような理由より本製品のライセンス費用は外国製と比較し安価で魅力のある金額にて提供するものとする。また、ライセンス付与台数も <u>2013 年のトラクター国内出荷台数から算出</u> しており十分に達成できる数値である。</p>
---------------	--