



平成28年度
船用スマート電力計の技術開発
成果報告書

平成29年3月
一般社団法人 日本船用工業会

はしがき

本報告書は、BOAT RACE の交付金による日本財団の助成金を受けて、平成 28 年度の 1 年計画で、一般社団法人日本船用工業会が渦潮電機株式会社に委託して実施した「船用スマート電力計の技術開発」の成果をとりまとめたものである。

海運業界において船舶のビッグデータを活用して国際競争力を強化しようとする動きがあり、船用機器の IoT 化も望まれている。現在の船用の電力計は、各発電機の総電力値をアナログ表示するだけの装置となっている。そこで、その総電力量変化の状況を把握すると同時に船内機器の発停情報を加え、分析することにより電力消費低減が可能なデータ収集、通信機能等を有する船用スマート電力計の開発を行った。

ここに、貴重な開発資金を助成いただいた日本財団、並びに関係者の皆様に厚く御礼申し上げる次第である。

平成 29 年 3 月

(一社)日本船用工業会

目 次

1. 事業の目的	1
2. 事業の目標	1
3. 事業内容	2
3.1 基本設計	2
3.1.1 スマート電力計の基本機能設計	2
(1) スマート電力計のシステム基本構成	2
(2) 入出力インターフェース部	5
(3) データ蓄積部	7
(4) マンマシンインターフェース部	7
(5) 中央データ処理部	8
(6) 内部処理ソフトウェア	9
(7) 制御電源部	12
(8) 機構部	12
3.1.2 アプリケーションソフトウェアの基本機能設計	13
(1) システム機能設計	13
(2) ユーザ・インターフェース設計	14
(3) データ構造設計	14
(4) データ処理・分析アルゴリズムの設計	19
3.2 詳細設計	21
3.2.1 スマート電力計の詳細設計	21
(1) 基本機能の詳細回路設計	21
(2) 機構部詳細設計	22
(3) 内部処理ソフトウェアの構成要素の詳細設計	23
(4) 集計装置 - PC 通信仕様	27

3.2.2 アプリケーションソフトウェアの詳細設計	29
(1) アプリケーションソフトウェアの構成要素	29
(2) ソフトウェアユニットの詳細設計	31
(3) モジュールの詳細設計	33
(4) コンポーネントの詳細設計	34
3.3 スマート電力計の試作	35
3.3.1 プリント基板の試作（アートワーク、電子部品実装）	35
3.3.2 ユニット筐体の試作	37
3.4 スマート電力計の実船搭載による試験と評価	38
3.4.1 スマート電力計試作品の単体機能評価試験	38
3.4.2 アプリケーションソフトウェアの模擬入力による単体評価試験	39
3.4.3 実船搭載試験	40
(1) 実航海時の電力情報の収集	40
(2) アプリケーションソフトウェアを用いた性能評価及び検証	45
4. 目標の達成状況	48
5. 船用スマート電力計の今後の取り組み	48
6. まとめ	49

1. 事業の目的

データ収集、通信機能等を有する船用スマート電力計の開発を行う。船舶のビッグデータを活用して国際競争力を強化しようとする動きがある。これは海上通信環境が大幅に改善された事と船内 LAN による船用機器のネットワーク化の普及が背景にある。船用の電力計は各発電機の総電力値を表示する目的で装備されているが船内負荷は船種、運航状態に応じて時々刻々と変化している。その総電力量変化の状況を把握すると同時に船内機器の発停情報を加え、分析することにより電力消費低減を図る。そのためには従来と同一のハードウェアに知能を組み込み得られる情報からユーザへ電力消費低減の具体策を提供する事である。本開発の暁には電力を表示する計器から情報端末として電力の「見える化」を実現できる。このような船用スマート電力計は未だ存在しない。

本事業の目的は、以上のとおりであるが、個別の事項について補足すると以下のとおりである。

船舶においては、主機及び補機運転による CO₂ 排出量の割合が全体の多くを占めている。主機は、搭載出力、燃料油、陸上試験データなどから算出式が定められている。一方、補機は、貨物関連などの要件で搭載出力が決定され、負荷率は船種により大きく異なることから、主機出力に定数を与えて用いられている。従って、実航海における補機の負荷率を正確に計測し、分析することが必要である。そこで、使用電力量を把握するため、発電機電力計にデータ収集、蓄積、通信機能を内蔵したスマート電力計を開発する。加えて、収集した電力量情報と始動器などから得られる周辺機器の時系列発停情報を重ね合わせ、多角的に分析、解析するデータ処理アプリケーションソフトを開発し、電力の「見える化」を実現する。

2. 事業の目標

日本財団殿の助成を得て、実施した「船用スマート電力計の技術開発」

2.1 本事業の最終目標(平成28年度)

- (1) 船用スマート電力計を試作し、電力使用量を10%低減する。

船用スマート電力計に収集、蓄積されたデータを「見える化」アプリケーションソフトウェアを用いてデータの分析と解析行う。その際、船内の周辺機器の発停情報及び負荷電力情報、そしてこれらの時系列情報を重ね合わせて分析、解析する。

「見える化」アプリケーションソフトウェアは、電力の使用状況を定量的に把握すると共に、電力使用状況を診断し、使用電力量を10%低減可能な対策（機器運転台数、運転手順、運転時間など）を導き出す。

- (2) 電力の「見える化」を実現するアプリケーションソフトを製作する

時系列に蓄積された電力情報から電力使用量をグラフ化するなどして、容易に把握できるように視覚化する。そして、船舶の位置情報、出入港中、荷役中などの運航状態や気象・海象情報と電力使用情報を重ね合わせ、船舶運航や環境と船内電力負荷との関連性を視覚化する。また、蓄積されたデータを最大、最小、平均値、偏差など、任

意にユーザ条件設定を選択して、多角的なデータ処理・分析する機能を持つ。そして、電力使用量を診断した結果、削減するための対策案を導きだす機能を構築する。

[具体的省エネへのアプローチ]

- ▶ 周辺機器の運転状態（運転、停止）を把握することで、機器電力使用を抑制、促進することができる。
- ▶ 船内の電力需要量をリアルタイムにグラフ化し、節電ゾーンを明示して乗組員へ情報開示することにより節電行動を促し、節電効果がリアルタイムに把握できる。（空調設備の温度設定、照明器具などへの節電行動）
- ▶ 電力需要のピーク値と運転している周辺機器との関連性を確認し、需要ピークを抑制する省エネの方策を提供できる。

3. 事業内容（平成28年度の実施内容）

3.1 基本設計

3.1.1 スマート電力計の基本機能設計

(1) スマート電力計のシステム基本構成

スマート電力計は、各発電機の電力及び電力量を計測するマルチパワーメータ（以下、マルチメータ）と各発電機電力量の合計積算及び各種発電機情報を収集する電力量集計表示装置（以下、集計表示装置）、そして電力量集計表示装置の表示機能を離れた場所でモニタリングを可能にする電力量集計表示用拡張モニタ（以下、拡張モニタ）で構成する。表示集計装置には、集計及び収集したデータをEthernet規格によるデータ通信する機能を有し、外部へデータを送出する。

(イ) マルチメータ

マルチメータは、船舶に搭載される発電機が消費する電力及び電力量を計測する目的の装置である。三相電力の電圧及び電流を計測用変圧器（V T）と変流器（C T）を用いて検出し、三相電力の電圧、電流、電力、周波数、力率、電力量等を計測する。マルチメータは、液晶表示装置を有し、任意の要求に対して三相電力の情報を表示する。計測した情報を外部へ送出手のため、通信インターフェースを持っている。

計測用変圧器（V T）及び変流器（C T）とは、計測用変圧器は交流回路の高電圧を低電圧、変流器は大電流を小電流に変換（変成）する機器である。図1と図2に計測用変圧器及び変流器の構造を示す。

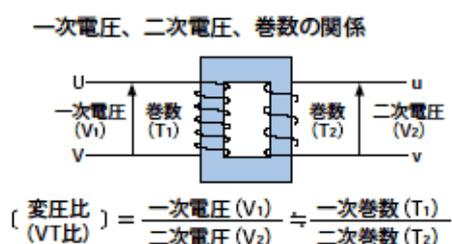


図1 計測用変圧器（V T）

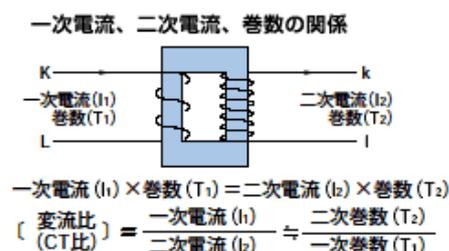


図2 変流器（C T）

図3にマルチメータの内部機能ブロック及び表示イメージを示す。

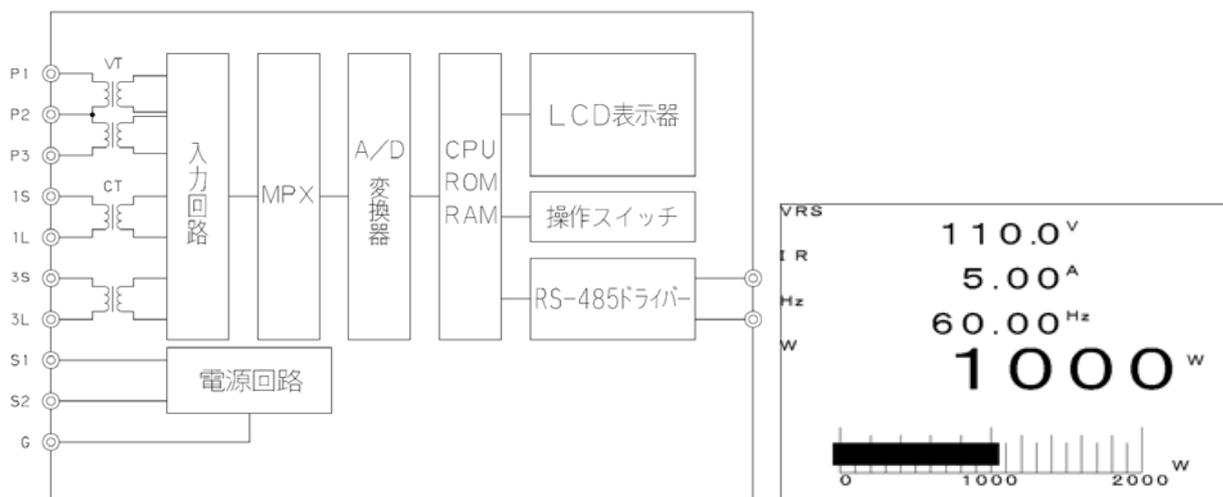


図3 マルチメータの内部機能ブロック及び表示イメージ

(ロ) 集計表示装置

集計表示装置は、最大4台のマルチメータ及び拡張モニタとマルチドロップ接続する通信インターフェースを持つ。マルチメータの電力及び電力量を取得し、集計及び表示する。また、マルチメータの電力諸量（電圧、電流、周波数等）を取得して、取得日時と共に不揮発性メモリに保存する。そして、保存したデータは、上位システムからEthernet規格によるLANインターフェースで読み出すことができる。

マルチドロップ接続とは、信号ライン上に装置を芋づる式に接続できる通信形態である。図4に集計表示装置の内部機能ブロック及び表示イメージを示す。

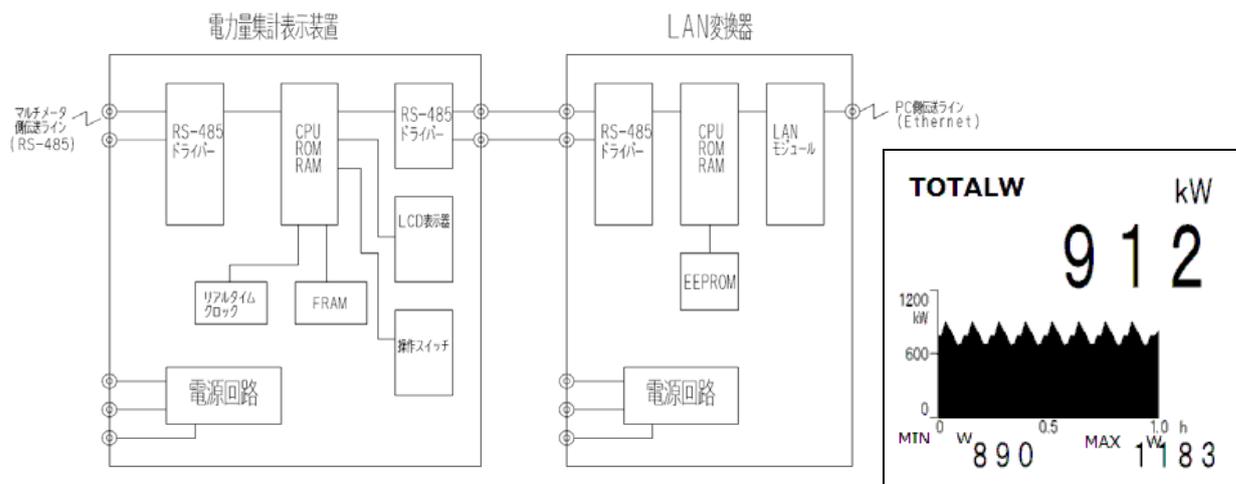


図4 集計表示装置の内部機能ブロック及び表示イメージ

(ハ) 拡張モニタ

拡張モニタは、マルチメータ及び集計表示装置から離れた場所（例えば、船橋や居室等）で発電機状態をモニタできるものである。2芯の通信線と電源供給のみで動作する。図5に内部機能ブロックを示す。

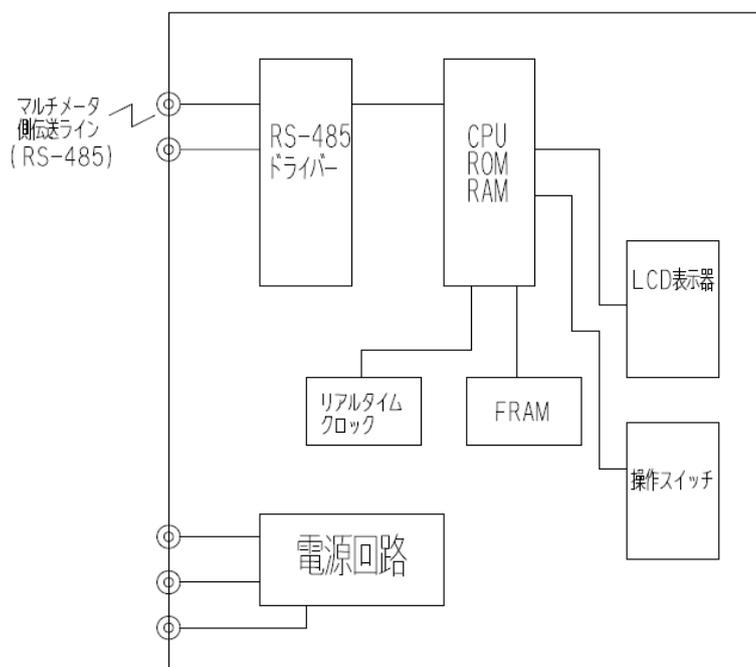


図5 拡張モニタの内部機能ブロック

(ニ) スマート電力計のシステム構成

マルチメータ、集計表示装置及び拡張モニタを用いたシステム構成を図6、装置間の接続系統を図7に示す。集計表示装置は、最大4台のマルチメータ及び1台の拡張モニタを接続することができる。集計表示装置、マルチメータ及び拡張モニタの間は、マルチドロップ方式の接続形態である。集計表示装置には、LANインターフェースに接続することによりEthernet規格で上位システムと情報交換が可能になる。

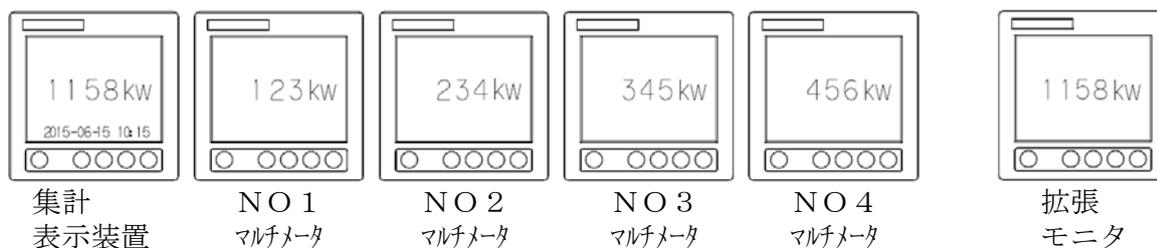


図6 スマート電力計のシステム構成

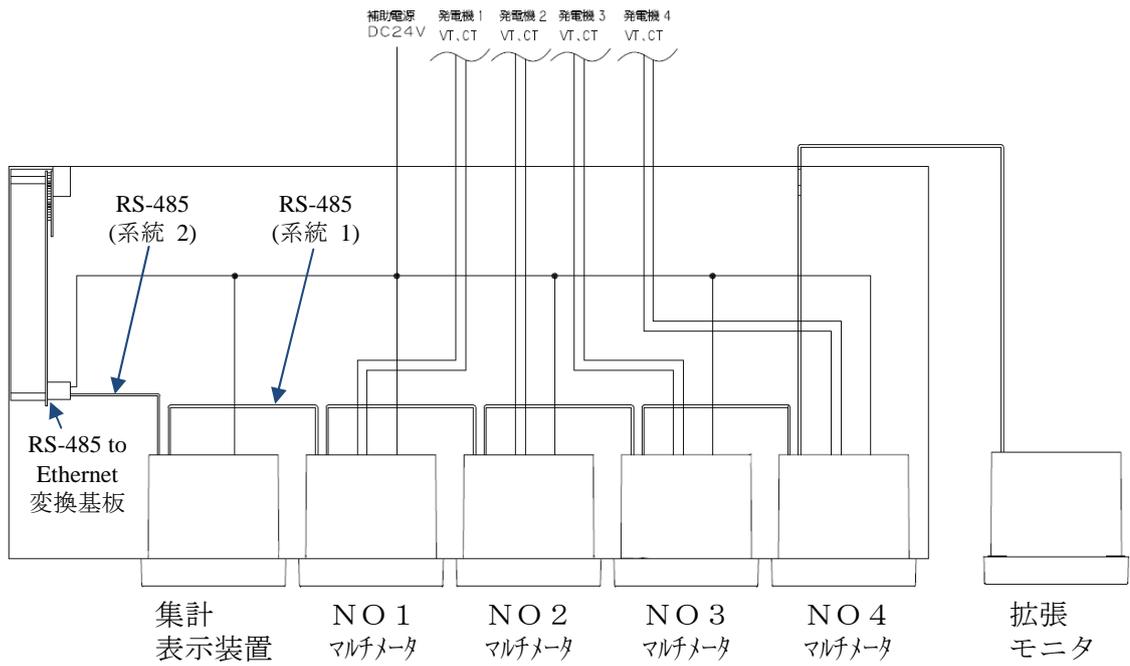


図7 スマート電力計の装置間接続系統

(ホ) 使用環境条件

使用環境条件は、船舶の機関監視室に設置される機器に求められる温湿度条件を満足する表1の通りとする。

表1 使用環境条件

使用温度範囲	-10 ~ +55 °C
保存温度範囲	-20 ~ +70 °C
相対湿度	85%以下 (結露しないこと)

(2) 入出力インターフェース部

(イ) マルチメータの発電機インターフェース

発電機の電圧及び電流を検出するVT及びCT定格値及び動作範囲を表2～表4に示す。なお、周波数は、定格50Hz又は60Hzを選択する。実際の発電機定格電圧及び電力に対応するため、外部に計測用変圧器及び変流器が必要になる。

表 2 電圧入力範囲

定格	動作範囲
110V/220V	0～150V/0～300V

表 3 電流入力範囲

定格	動作範囲
1A	0～1A
5A	0～5A

表 4 周波数範囲

定格周波数	動作範囲
50, 60Hz	45～66Hz

(ロ) マルチドロップ接続用通信インターフェース

集計表示装置、最大4台のマルチメータ及び拡張モニタをマルチドロップ接続する通信インターフェースには、平衡型伝送路規格であるANSI/TIA/EIA-485-A（以下、RS-485）を用いる。RS-485は、差動型のデジタル伝送路インターフェースであり、一般的にノイズに強いとされており、配電盤内部の電磁ノイズ環境下に適している。そして、Modicon Inc. 社（AEG Schneider Automation International S.A.S.）がPLC用に開発した通信プロトコルであるModbus Protocol（以下、Modbus）を用い、その仕様は広く公開されている。Modbusで定義されているのは、通信プロトコルだけで、通信媒体などの物理レイヤは規定されていない。従って、物理レイヤとして前記に示したRS-485を用いる。Protocol（以下、プロトコル）とは、複数の主体が滞りなく信号やデータ、情報を相互に伝送できるよう、あらかじめ決められた約束事や手順の集合のことである。

通信インターフェース RS-485
 プロトコル Modbusプロトコル
 通信速度 38.4kbps（標準設定値） 任意に通信速度を変更可能

(ハ) Ethernet規格LANインターフェース

集計表示装置に、Ethernet規格LANインターフェースを持たせた。Ethernet（イーサネット）はコンピューターネットワークの規格の1つで、世界中のオフィスや家庭で一般的に使用されている有線のLAN（Local Area Network）で最も普及している通信規格である。集計表示装置で収集、蓄積したデータを「見える化」するため、外部機器のアプリケーションソフトウェアを用いて分析や解析を行うには、普及しているインターフェース持つことが重要である。これによりタブレットやパソコン等、広く利用されている機器と情報交換することができる。

(ニ) 集計表示装置のアラート機能

システムに異常が生じた場合、内部リレーが作動し、接点出力するようにした。また、総電力が設定された測定量を超えたとき、液晶表示画面の値を点滅させると同時に接点出力するようにした。

Ch1（システムエラー接点）

ON：自己診断エラー検出時、および電源不具合時

OFF：上記以外

Ch2（総電力エラー）

ON：設定指針の上限値設定時、総電力が設定指針で示された測定量を超えた時、設定指針の下限値設定時、総電力が設定指針で示された測定量未満の時。

OFF：上記以外

(3) データ蓄積部

集計表示装置は、マルチメータから取得したデータを内部メモリに保存する機能を持たせた。内部メモリは、集計表示装置への給電が遮断してもデータを保持することができる。

電源OFF時、下記項目について、内部メモリに記録・保持されるようにした。

- ・設定値
- ・運転時間
- ・有効電力量
- ・電源OFF時の表示画面
- ・無効電力量（マルチパワーメータのみ）
- ・総合電力量

(4) マンマシンインターフェース部

マルチメータ、集計表示装置及び拡張モニタには、解像度240×160のドットマトリックス グラフィックモノクロLCDを使用する。マルチメータ、集計表示装置及び拡張モニタにおいて、操作及び表示の統一性を図り、容易な操作性を確保するようにした。表示・操作部のレイアウトを図8に示す。

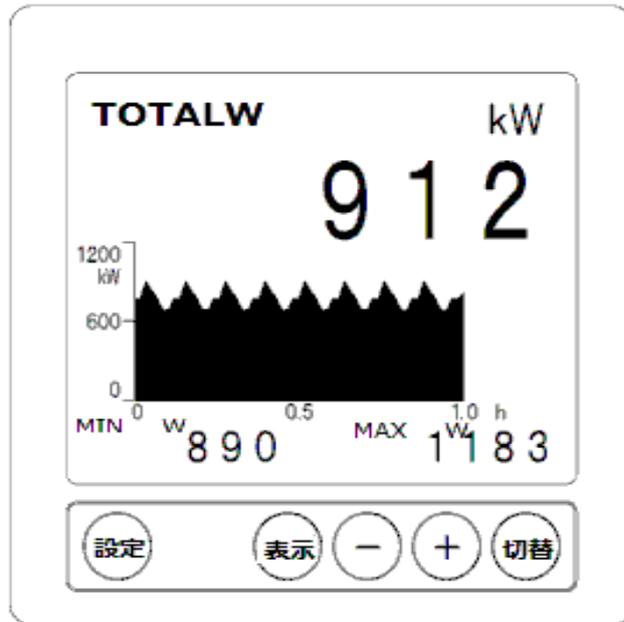


図8 表示・操作部のレイアウト

(5) 中央データ処理部

【中央データ処理部の主要な役割】

- ・ 入出力インターフェース部から取得した情報を計測値演算処理
（電圧、電流、電力、周波数、電力量、運転時間等）
- ・ マンマシンインターフェース部のキー入力された要求に対し、所定の処理を実行しモノクロLCD表示器に所定の情報を表示
- ・ マルチメータ及び集計表示装置間の受信データ及び送信データの処理
- ・ LANインターフェース経由で上位装置と送受信するデータ処理
- ・ 内部メモリへのデータ保存処理
- ・ 中央データ処理部は、マルチメータ、集計表示装置及び拡張モニタにおいて共通のプリント基板として設計することにより、設計期間の短縮と保守性を高める。

(6) 内部処理ソフトウェア

(イ) マルチメータの内部ソフトウェア構成

マルチメータの内部ソフトは、発電機の電圧、電流を入力し演算する処理部、表示部と操作部を処理するユーザーインターフェース部、集計表示装置との通信処理部及び全体のデータ処理部で構成される。電圧、電流のサンプリングと通信処理は、優先して処理する。内部ソフト構成を図9に示す。

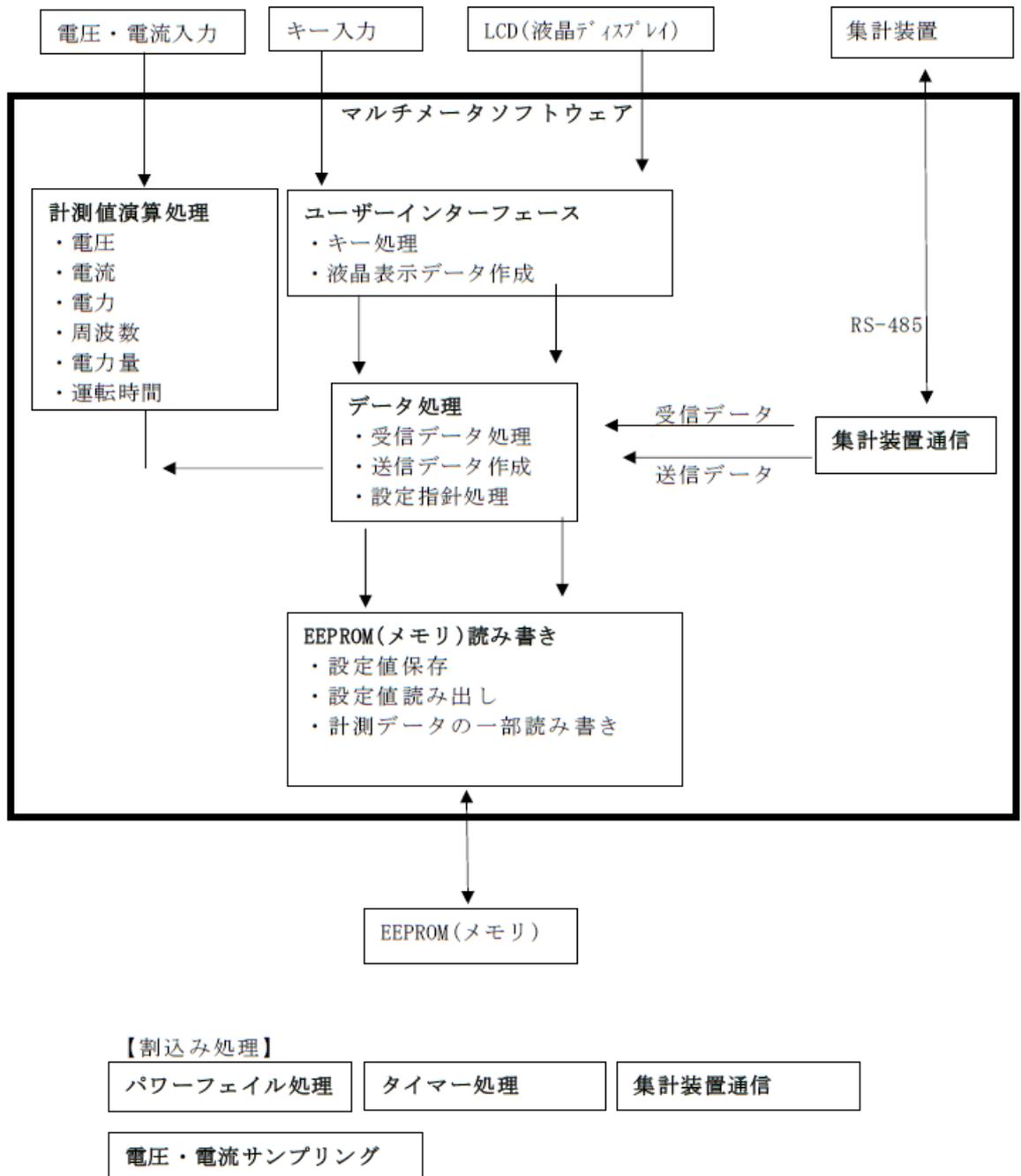


図9 マルチメータの内部ソフト構成

(ロ) 集計表示装置の内部ソフトウェア構成

集計表示装置の内部ソフトは、マルチメータ及び上位装置（LANインターフェース）との通信処理部、表示部と操作部を処理するユーザインターフェース部及び全体のデータ処理部で構成されている。内部ソフト構成を図10に示す。

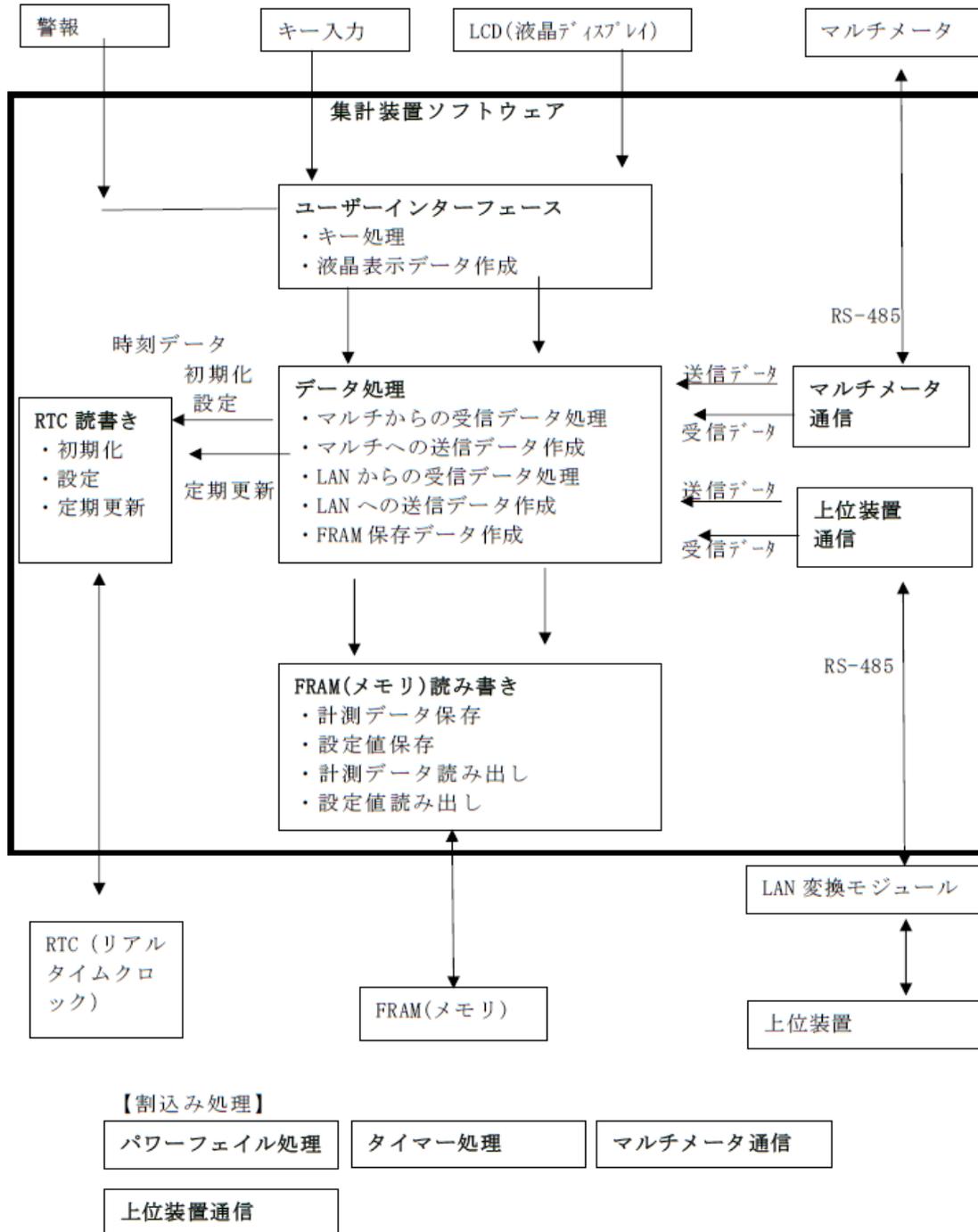


図10 集計表示装置の内部ソフト構成

(ハ) 通信プロトコル仕様

Modbusプロトコル通信方式のシリアル伝送モードにはASCII (American Standard Code for Information Interchange) モードとRTU (Remote Terminal Unit) モードの2種類がある。ASCIIモードは、1バイト (8ビット) データを2文字のASCIIコードに変換して伝送する。一方、RTUモードは、1バイト (8ビット) データをそのまま伝送する。スマート電力計には、ASCIIモードより伝送効率が良いRTUモードを使用することとした。データテキストの構成を図11に示す。

【プロトコル】

伝送テキストは全て8ビットHEXコード (16進数) で伝送する。各データのビット長は11ビットとなる。

ビット構成：

STARTビット
データ (1ビット目)
↓
データ (8ビット目)
パリティビット
ストップビット

【テキスト構成】

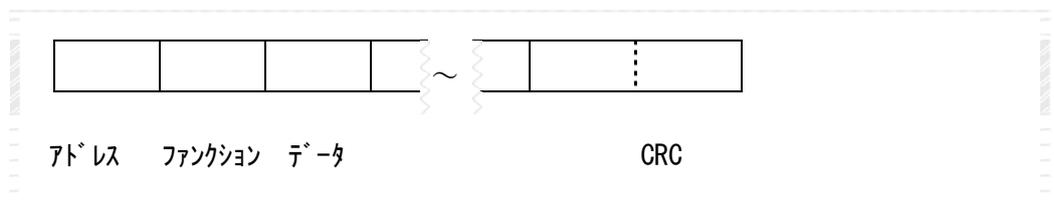


図11 データテキストの構成

アドレス	: 0~F7H
ファンクション	: 03H ---レジスタ読み込み 10H ---レジスタ書き込み
データ	: 8ビットHEXデータ
CRC	: CRCエラーチェックコード (2バイト構成)

(二) 伝送タイミング (RTUモード)

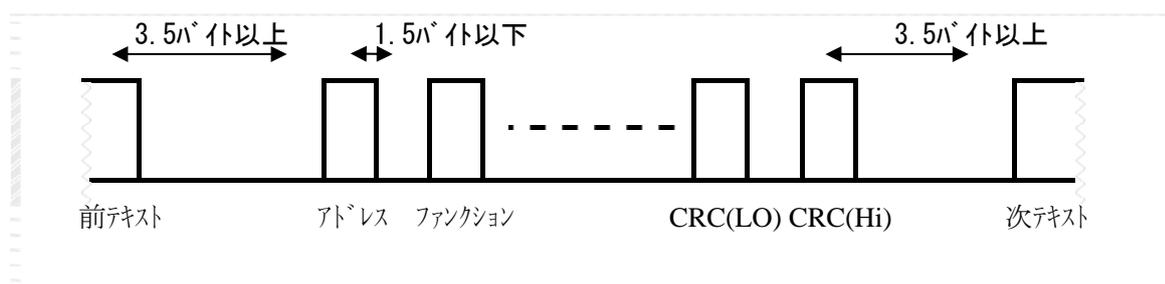


図 1 2 伝送タイミング

- 各伝送テキストの前後は 3.5 バイト以上のアイドリングを設ける。
- 各データ間は 1.5 バイト以下の間隔。
- 伝送途中で、データ間隔が 3.5 バイト長以上空いた時は、伝送テキスト終了と判断。

(7) 制御電源部

既存の電力計と交換が可能なように、配電盤で一般的に使用されている電源で作動する仕様とした。加えて、日本海事協会鋼船規則の制御及び計装用機器並びに電気設備における環境試験の試験項目、試験条件を満足する範囲とした。その詳細を表 5 に示す。

表 5 制御電源部

DC24V電源	DC18~31.2V
フリー電源 (AC)	AC80~264V
フリー電源 (DC)	DC80~143V

• 絶縁抵抗

入力、補助電源、外箱の各相互間の絶縁抵抗は、船舶で一般に使用されている DC 500V 絶縁抵抗計を用いて、絶縁抵抗 100MΩ 以上とした。

• 耐電圧

入力、補助電源、外箱の各相互間の耐電圧値は、使用する発電機定格電圧 + 1,000V とされている。過去の要求事例から AC 2,000V で 1 分間とした。出力と外箱間の耐電圧値は、一般的な AC 500V で 1 分間とした。

• 雷インパルス耐電圧

入力と他の電気回路及び外箱間の雷インパルス耐電圧は、6kV で 1.2/50 μs とした。

(8) 機構部

マルチメータ、集計表示装置及び拡張モニタの形状は、既存の電力計と交換が可能なように、110mm 角形丸胴埋込型の大きさになるように共通した設計にした。前面に表示部及び操作部、後面に入出力端子台を配する構成とした。

3.1.2 アプリケーションソフトウェアの基本機能設計

(1) システム機能設計

アプリケーションソフトウェアは、スマート電力計システムから表6に示す①と②の方法で発電機に関する情報（電力、電力量、電圧、電流、周波数等）を取得する。なお、船内LANシステムを装備している船舶において、船内LAN情報に補機関運転情報を含んでいる場合、アプリケーションソフトウェアは、その情報を同一時系列として取り込める機能も設けた。アプリケーションソフトウェアが発電機データを収集するシステム系統を図13に示す。

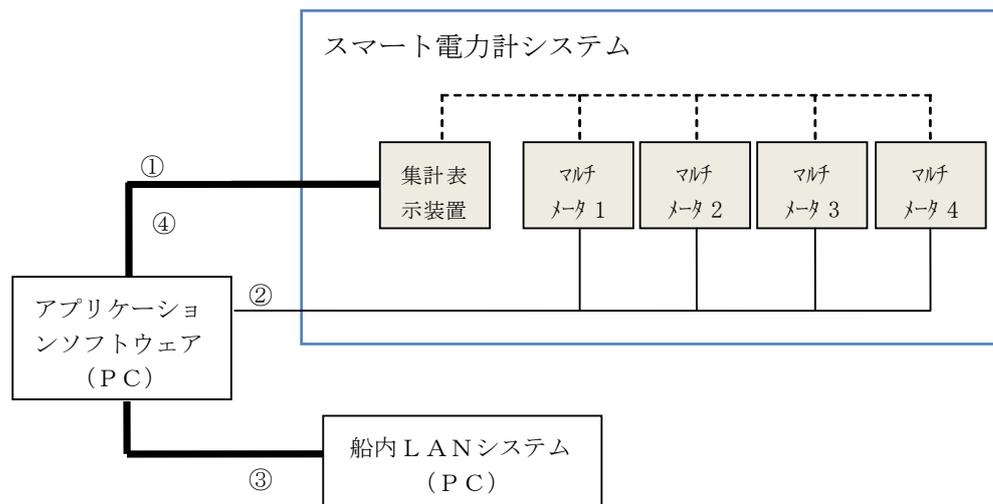


図13 データ収集するシステム系統

表6 スマート電力計 通信方法の分類

番号	通信内容	通信方法	プロトコル	備考
①	発電機データ収集	Ethernet	Modbus/TCP	集計表示装置経由でデータ収集するケース
②	発電機データ収集	RS485	Modbus/RTU	最大4台のマルチメータから直接データ収集
③	船内データ収集	Ethernet	UDP/IP	船内LANを装備する船舶において補機関情報を収集
④	時刻合わせ	Ethernet	Modbus/RTU	

(イ) データ収集の事前処理

時系列のデータを扱う場合には日付や時刻のフォーマットの統一が必要である。データ分析に使用するためには、非構造化データであれば正規表現などを利用してデータを正規化・構造化し、時系列分析が容易にできるように日付と時刻のフォーマットを統一する。発電機データ及び船内機関情報を取得するため、後述の表8データベースに示す4種類の通信を行う。方向の欄はデータの方向性を表している。

(2) ユーザ・インターフェース設計

スマート電力計システムは、発電機情報を最小間隔 1 分の周期でデータ保存が可能である。従って、蓄積されるデータ量は計り知れない量になる。その大量データを蓄積し処理するためには、最大行数65,000行を扱うExcelでは限界がある。このような大量のデータを「データベース」に集めて、読み書き、管理を行う「データベース管理システム」が必要であり、「データベース管理システム」には、扱うデータの行数に制限がない。一方、実際にユーザがデータベースに具体的なデータの読み書きを指示するには、「アプリケーションプログラム」と呼ばれるツールが必要である。これは、本技術開発の目標としている「アプリケーションソフトウェア」（以下、アプリケーション）に相当するものである。そして、データベース管理システムは、複数のアプリケーション（複数のユーザに相当）が同時にデータベースにデータを読み書きすることができるように、読み書きの交通整理を行う。そこで、本技術開発では、「データベース管理システム」にフリーでオープンソースであるPostgreSQLを採用する。PostgreSQLは、世界中の技術者が協力して開発を行っているため、機能やプログラムのソースコードは多くの技術者にチェックされ、多くのメンバーの手で実際に動かして試験がなされた後、一般用途に公開されている。そのために、PostgreSQL は大変品質の高いプログラムとなっている。

ユーザが直接操作するのは、アプリケーションが実装される端末である。スマート電力計システムには、Ethernet規格のLANインターフェースを装備しているので、多種多様な端末と接続できることが可能となる。

(3) データ構造設計

(1) データベース構造の定義

データベースのテーブル相関及び多重度を図 1 4 に示す。

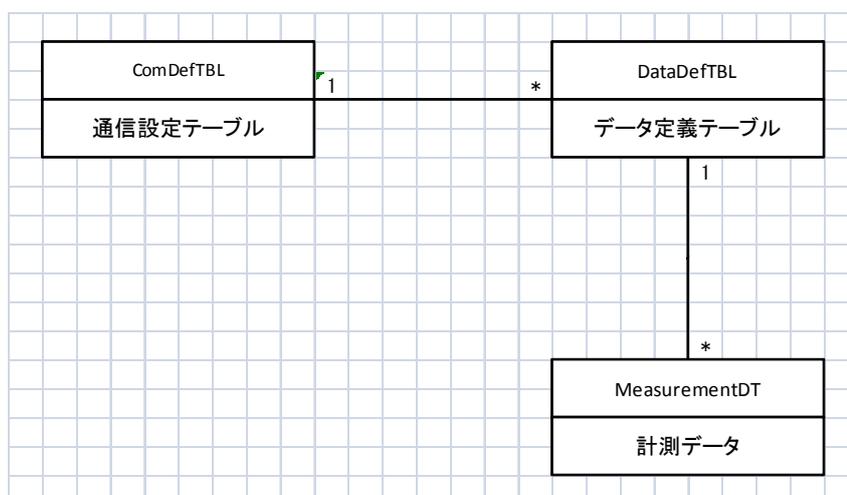


図 1 4 テーブル相関図及び多重度

表 7 データ構造定義

1. ComDefTbl					
	フィールド名	型・長さ	Index	Default	詳細情報
通信設定主キー	fComIndex	smallint	主キー	(0)	SEQNO
ポート種別	fComPortType	smallint		(0)	0:RS422,1:Ethernet
ポート番号	fComPortNo	smallint		(0)	
接続先アドレス	fComAddress	char(8)		('')	
ユニット番号	fComUnitNo	smallint		(1)	
プロトコル	fComProtocol	smallint		(1)	1:データ収集装置,2:スマートメーター,3:船内データ,4:時計データ
受信間隔	fComRecInterval	smallint		(0)	
待ち時間	fComTimeOut	smallint		(0)	
作成日	fComCreateDateTime	timestamp		(Now)	
更新日	fComUpdateDateTime	timestamp		(Now)	
削除フラグ	fComDelFlg	char(1)		('')	1:削除

2. DataDefTbl					
	フィールド名	型・長さ	Index	Default	詳細情報
Channel No	fDatCHNO	char(8)	主キー		
通番設定主キー	fDatPortIndex	smallint	Index		fDatPortIndex=ComDefTbl.fComIndex
TAG NAME	fDatName	char(30)			
TAG ID	fDatTagID	char(100)	Index		
Modbus Address	fDatModbusAdd	char(4)		('')	
Modbus データ長	fDatDataLength	smallint		(0)	
Modbus Read/Write	fDatRW	smallint		(0)	0:Read,1:Write
Modbus Function Code	fDatModbusFuncCD	char(2)		('03')	0x03,0x04,0x10
センテンスID	fDatSentenceID	char(7)		(' \$')	
カラム	fDatColumn	smallint		(0)	1~32
データタイプ	fDataType	smallint		(0)	0:Boolean,1:Boolean+Data(15bit),2:Data(16bit)
ステータス1	fDatStatusTrue	char(8)		('')	
ステータス2	fDatStatusFalse	char(8)		('')	
符号有無	fDatSign	smallint		(0)	0:符号無し,1:符号有り
少数桁	fDatDigit	smallint		(0)	
作成日	fDatCreateDateTime	timestamp		(Now)	
更新日	fDatUpdateDateTime	timestamp		(Now)	
削除フラグ	fDatDelFlg	char(1)		('')	1:削除

3. MeasurementDT					
	フィールド名	型・長さ	Index	Default	詳細情報
時間	fMdtDateTime	DATEIME	主キー		
Channel No	fMdtCHNO	char(8)	主キー/Index		fMdtCHNO=DataDefTbl.fDatCHNO
ステータス	fMdtStatus	char(8)		('')	
計測値	fMdtValue	double		0	

(ロ) データベース

表8 データベース

コマンド番号	項目	内容	方向	周期
①	データ集計装置データ収集	スマート電力計の集計装置に、発電機のデータをリクエストする。	PC→	30s
		スマート電力計からデータを返信する。	→PC	
②	スマートメーターデータ収集	スマートメーターに、発電機のデータをリクエストする。最大3台のスマートメーターに対して、シーケンシャルにリクエストする。	PC→	10s
		スマート電力計からデータを返信する。	→PC	
③	船内データ収集	船内のパソコン2から送信されるデータを受信する。	→PC	2s
④	データ集計装置時刻セット	PCの時刻をスマート電力計の集計装置に書き込む。	PC→	60s
		応答を返す。	→PC	
		受信完了を送信	PC→	

(ハ) Modbusアドレス (データ収集のリクエストアドレス)

表9 Modbus アドレス

レジスタ名	アドレス	バイト数	R/W	対応コメント	適用
V r s (RS相電圧)	0 0 0 0	2	R	04H	②
V s t (ST相電圧)	0 0 0 2	2	R	04H	②
V t r (TR相電圧)	0 0 0 4	2	R	04H	②
I r (R相電流)	0 0 0 C	2	R	04H	②
I s (S相電流)	0 0 0 E	2	R	04H	②
I t (T相電流)	0 0 1 0	2	R	04H	②
W (有効電力)	0 0 1 2	2	R	04H	②
力率	0 0 1 6	2	R	04H	②
周波数	0 0 1 8	2	R	04H	②
電力量	0 0 3 2	8	R	04H	②
運転時間	0 0 9 6	4	R	04H	②
V T比	0 0 7 8	2	R/W	03H, 10H	①
C T比	0 0 7 A	2	R/W	03H, 10H	①
サンプリング時間	0 0 C E	2	R/W	03H, 10H	③
時刻設定値 (年)	0 0 D 0	2	R/W	03H, 10H	③
時刻設定値 (月、日)	0 0 D 2	2	R/W	03H, 10H	③
時刻設定値 (時、秒)	0 0 D 4	2	R/W	03H, 10H	③

適用①：データ収集装置、スマートメーター

適用②：スマートメーター

適用③：データ収集装置

(ニ) 集計表示装置のコマンドとアドレス

Modbus/TCP に準拠する。

テキスト構成

TCPヘッダ部	下記データ部参照
---------	----------

データ部

0	0	0	0	0	N	adr	func	Modbusデータ部
---	---	---	---	---	---	-----	------	------------

func : T、B、D

adr : 1～6 (データ集計装置 1 : 固定)

N : adr 以下のバイト数 (256 バイト以下)

図 1 5 集計表示装置データフォーマット

(ホ) マルチメータデータ収集のリクエストとコマンド

パソコン1からスマートメーターへModbus/RTUでデータのリクエストを行う。

データを受信し、受信データは定義ファイルに従って分割した後、

データベースに保存

要求コマンド

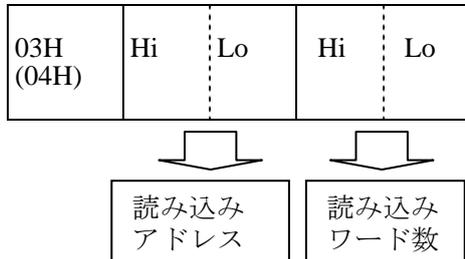


図 1 6 マルチメータデータフォーマット

(ハ) 船内LANデータ

船内LAN装備の船舶の場合、データ収集用PCから、UDPで定期的な送信される。

受信し、各項目を定義に分割した後、データベースに保存をする。

データフォーマットを表 1 0 に示す。

表 1 0 船内 LAN データフォーマット

センテンス	フィールド 1	...	フィールド 3 2	チェックサム	CRLF
7 バイト	Boolean		Boolean	2 バイト	2 バイト
\$XXXXXXX	Boolean + 15bit 16bit		Boolean + 15bit 16bit	*hh	0x0D0A

(ト) 伝送データフォーマット

各測定データと正規化データの対応を表11に示す。(110V、5A定格時)

表11 伝送データフォーマット

測定要素	測定データ(2次側)	正規化データ
電圧	0~150V	0~2000
電流	0~6A	0~2000
電力	-1200W~0~1200W	0~2000
無効電力 注2)	LEAD1200var ~ LAG 1200var	0~2000
皮相電力	0~1200VA	0~2000
力率 注2)	LEAD 50% ~100%~ LAG 50%	0~2000
周波数	45Hz~65Hz	0~2000
デマンド電力	0~1200W	0~2000
デマンド電流	0~6A	0~2000
電圧歪率	0~100%	0~2000
電流歪率	0~100%	0~2000
電力量(4ワト`長時) (2ワト`長時)	0~99999999999999Wh 0~999999(単位は乗率による)	8バイトHEXデータ 4バイトBCDまたはHEXデータ
無効電力量(4ワト`長時) (2ワト`長時)	0~99999999999999varh 0~999999(単位は乗率による)	8バイトHEXデータ 4バイトBCDまたはHEXデータ
漏洩電流(I0)	0~100mA(測定レンジによる)	0~2000
有効漏洩電流(I0r)	0~100mA(測定レンジによる)	0~2000

(4) データ処理・分析アルゴリズムの設計

(イ) 基本的な分析モデルを活用

分析手法について、一般的な分析モデルをライブラリとして持っていることが重要である。理論を理解しプログラミング言語を利用して分析ロジックを記述することはできるが、効率の観点からもビジネスアナリティクスでよく使われる基本的な分析モデルを利用する事が望ましいと思われる。

情報技術の発達により大量のデータを一括にそして迅速に扱える仕組みが作られた結果、蓄積された情報を利用できることが現実的に可能になり、蓄積された情報を知りたい内容に自由に加工、分析できるBI (Business Intelligence) と呼ばれるツールが近年本格的に利用され始めた。

BIは、多様な情報活用ニーズに応じて表示（ビュー）することに重点をおいたツールである。基本的な機能である集計・抽出・分類の他に、下記の機能がある。

① ダッシュボード機能

複数の分析結果を画面上にまとめて表示する機能である。確認したい一覧表やグラフを選択することで、画面上に拡大表示できる。さらに、詳細データへと掘り下げる（ドリルダウンする）ことで、原因の追及が可能となる。

② スコアカード機能

あらかじめ設定した指標に対して達成度合いを信号機（青・黄・赤）の形やトレンドを矢印で表現する機能。

③ レポート機能

クロス集計表と呼ばれる各種集計軸によるサマリ表やその集計軸に含まれる明細の一覧を出力する機能である。対象のデータの絞り込みや集計のブレイクダウンのためドリルダウンを画面上で行う。

④ 分析機能

ある集計軸に注目して掘り下げたり、集計軸にそってデータを抽出したり（スライス）、集計の縦軸・横軸を自在に入れ替えたり（ダイス）する機能を備えている。

⑤ データマイニング

マイニング（mining）とは採掘のことであり、膨大な量のデータから、傾向やパターンなどの見つけ出し、問題解決する機能である。クロス分析、相関分析、回帰分析などの手法を利用することができる。

(ロ) データや分析結果の視覚化

グラフ描画やデータを視覚化する機能は分析、解析のためデータの全体観を把握するために必要である。図17のような表現で視覚化することが重要である。

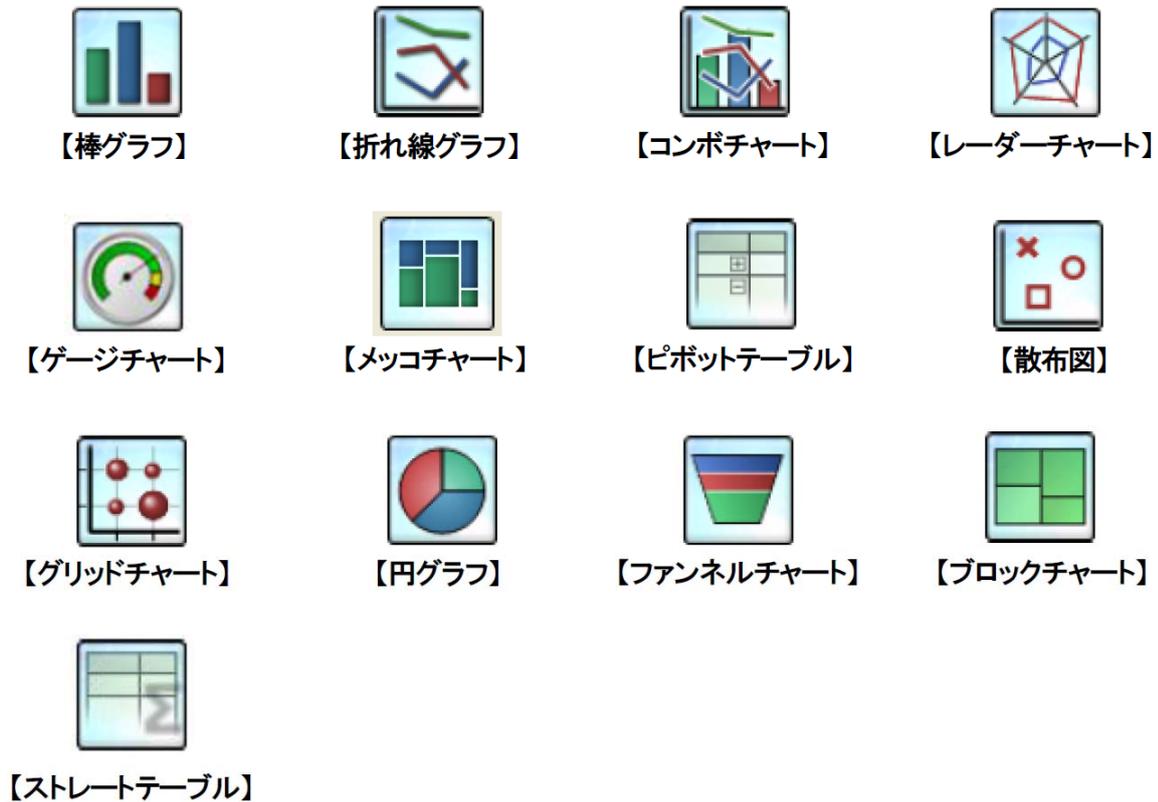


図17 シートオブジェクト

(ハ) 分析のための「道具」を選ぶ

分析のための「道具」（ツール）選びの視点から考えた場合、重要な要素として下記が挙げられる。

- A. データの取り込み
- B. データの事前処理
- C. 基本的な分析モデルを扱える
- D. 数値計算
- E. データや分析結果の視覚化
- F. 大量データへの対応
- G. 多様なデータへの対応
- H. リアルタイムへの対応

このように体系づけられたツールを用いて、船内の電力負荷を分析する切り口とする。

3.2 詳細設計

3.2.1 スマート電力計の詳細設計

(1) 基本機能の詳細回路設計

マルチメータ、集計表示装置及び拡張モニタの内部ブロック図に従って、詳細回路設計を行う。CPU（中央処理装置）周辺回路構成は、同一の回路設計を行い、共通のプリント基板とする。マルチメータには、発電機の電圧、電流を検出し、デジタル化する回路が求められるので、独自の回路及びプリント基板を設計する。このようにプリント基板の共通化を図り、設計の高効率化と柔軟な保守性を確保する。拡張モニタは、集計表示装置と機能ブロックが類似しているため、共用基板として利用する。CPU周辺回路及び入出力回路を図18に示す。

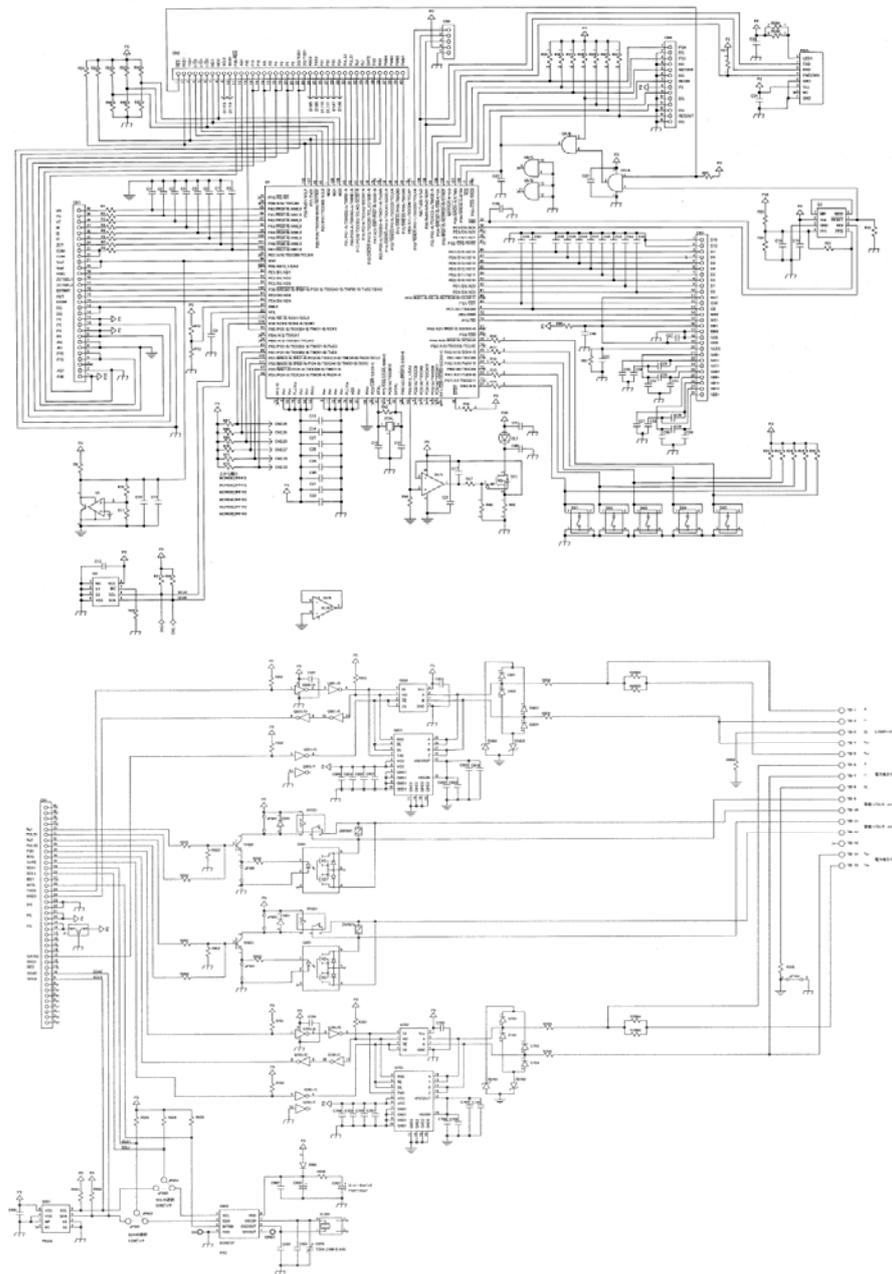


図18 CPU周辺回路及び入出力回路図

(2) 機構部詳細設計

(イ) 外形

スマート電力計システムを構成するマルチメータ、集計表示装置及び拡張モジュールは、いずれも同一形状で、既存の電力計と交換可能な110mm角形状とした。そして、前面に操作部と表示部、背面に入出力端子部を設ける。前面、側面、背面の外観を図19に示す。

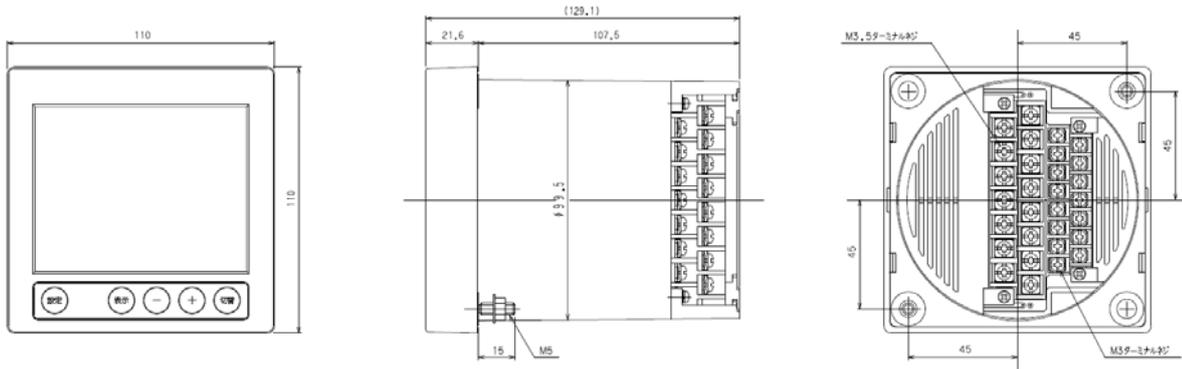


図19 前面、側面、背面の外観

(ロ) マルチメータの入出力端子

図20にマルチメータの入出力端子台の詳細を示す。

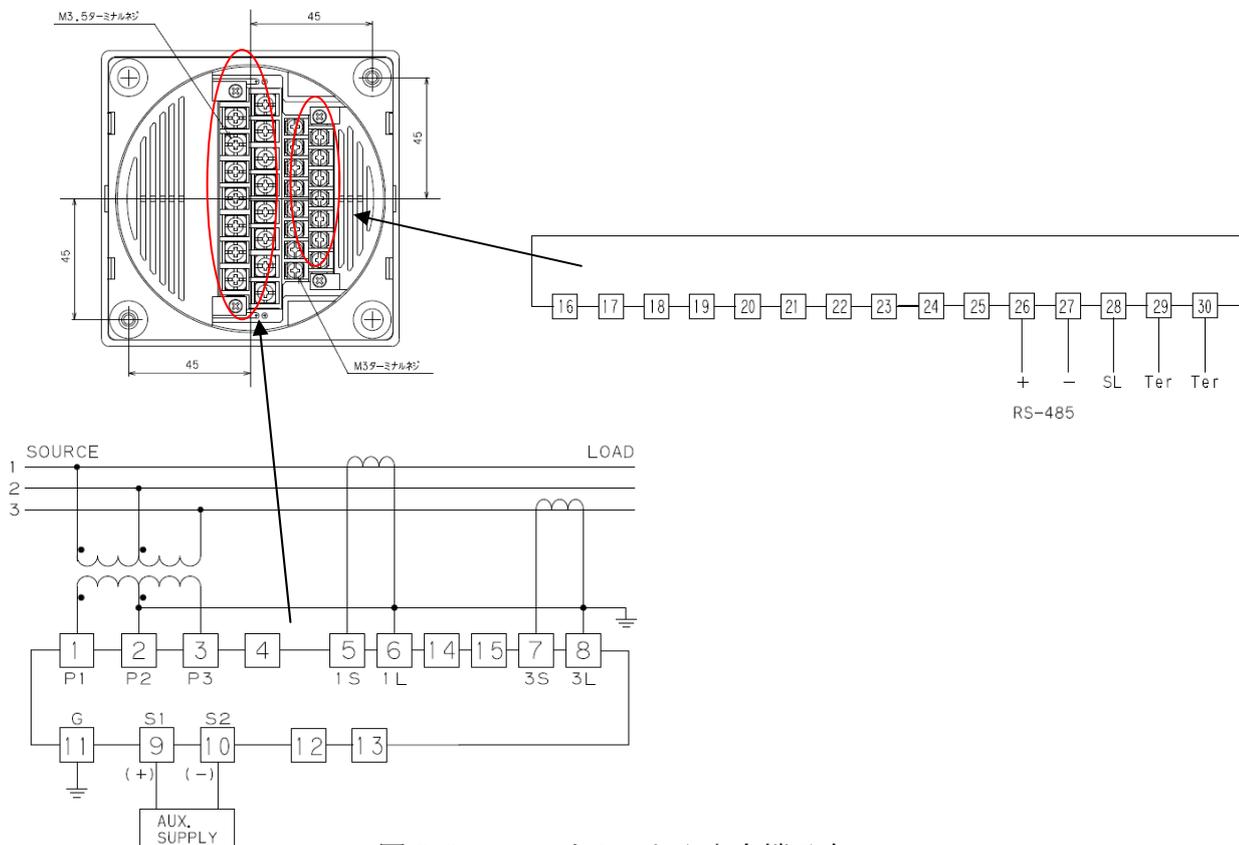


図20 マルチメータ入出力端子台

(ハ) 集計表示装置の入出力端子

図 2 1 に集計表示装置の入出力端子台の詳細を示す。

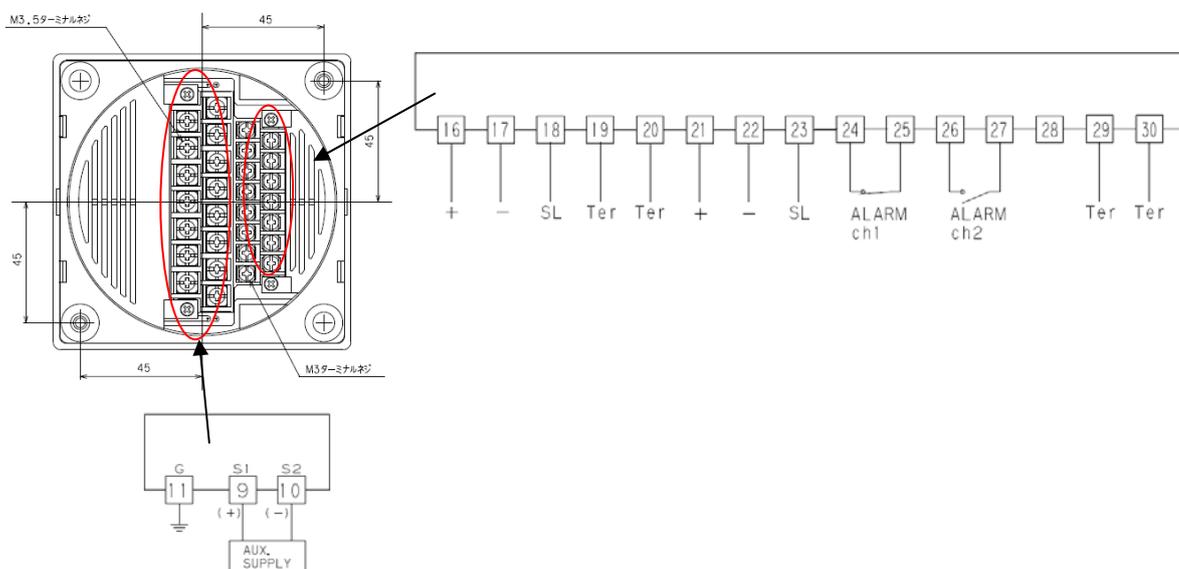


図 2 1 集計表示装置入出力端子台

(3) 内部処理ソフトウェアの構成要素の詳細設計

(イ) 操作部及び表示部

操作部の基本機能と表示部の基本構成を図 2 2 に示す。

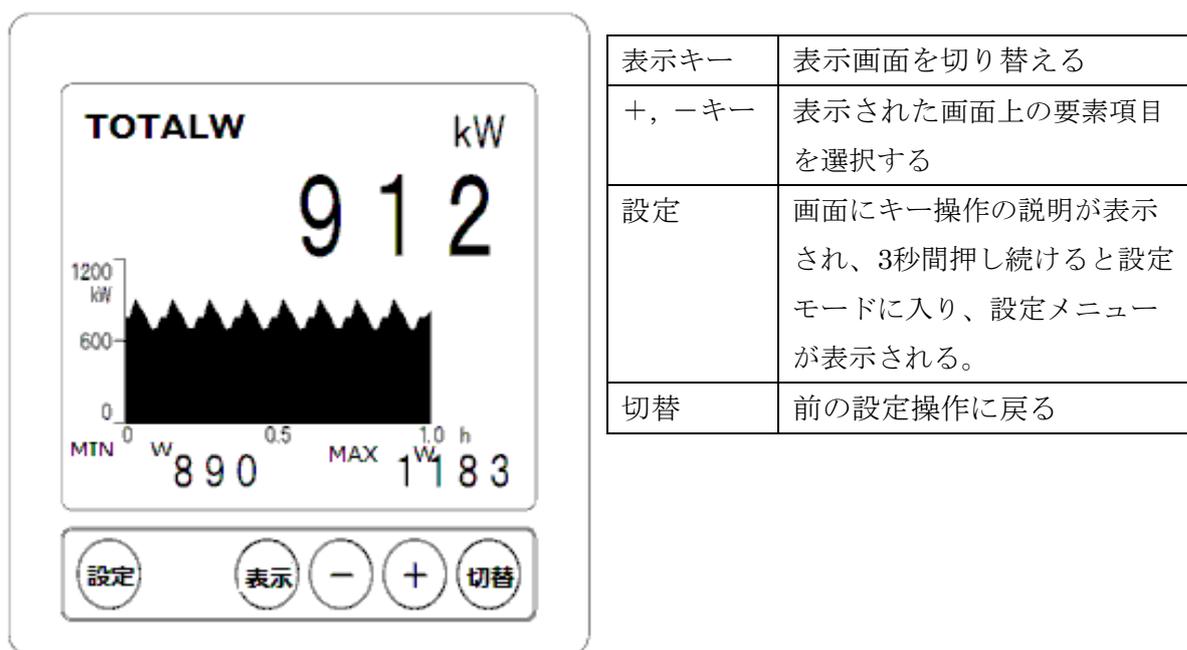
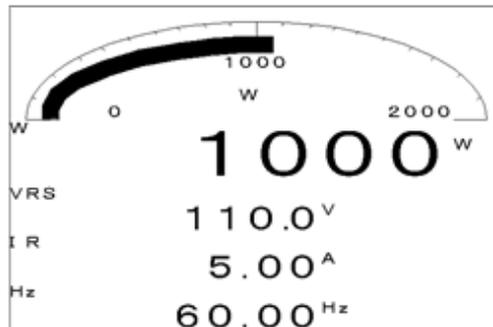
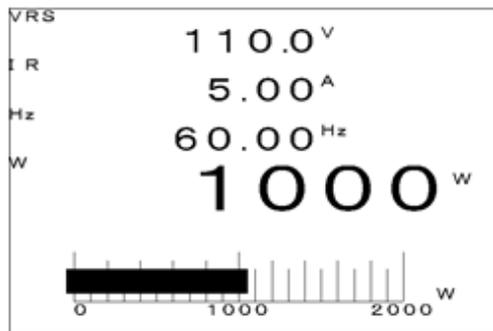
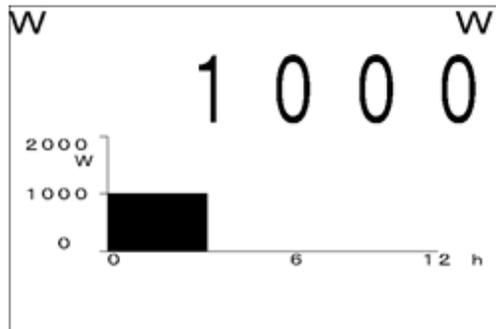


図 2 2 操作部の基本機能と表示部の基本構成

(ロ) マルチメータの表示パターン

発電機の線間電圧、相電圧、相電流、周波数、電力、電力量、運転時間等をデジタル表示やバーグラフで表示する。使用者の好みに応じ変更できるように4パターンを用意した。4つの表示パターンを図23に示す。



VRS	110.0	v
VST	110.0	v
VTR	110.0	v
IR	5.00	A
IS	5.00	A
IT	5.00	A
W	1000	W
Hz	60.00	Hz
+WH	2000	kWh
LOAD	770	h

図23 マルチメータの表示パターン

(ハ) 集計表示装置の表示パターン

マルチメータから取得する発電機の電力、電力量、総電力及び総電力量をデジタル表示やバーグラフで表示する。使用者の好みに応じ変更できるように4パターンを用意した。4つの表示パターンを図24に示す。

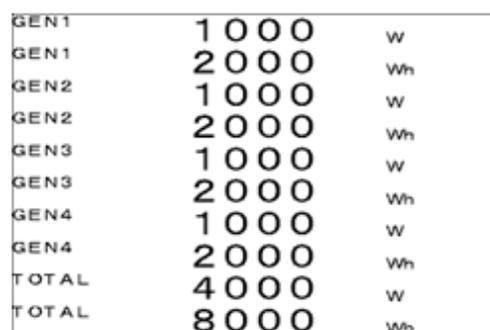
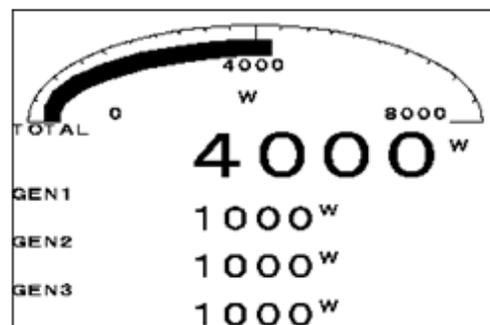
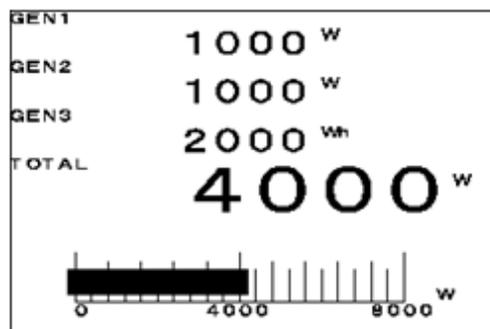
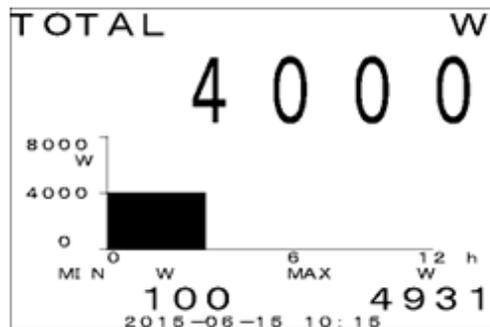


図24 集計表示装置の表示パターン

(二) マルチメータの計測範囲及び計測精度

発電機の各測定項目におけるマルチメータが計測する入力範囲を表12に示す。CT比及びVT比は、発電機定格電圧及び電力に応じで任意に設定される。また、マルチメータ及び集計装置に表示される各表示パターンにおけるデジタル、バーグラフ表示等の許容精度を表13に示す。

表12 計測入力範囲

測定項目	入力範囲	表示
電流 (R, S, T)	0 ~ 5A 又は 0~1A	入力電流×CT比
電圧 (R-S, S-T, T-R)	0 ~ 150V 又は 0 ~ 300V	入力電圧×VT比
電力	0 ~ 1kW 又は 0 ~ 2kW	入力電力×CT比×VT比
周波数	45Hz ~ 66Hz	45.00Hz ~ 66.00Hz
力率	LEAD50%~100%~LAG50%	—————
電力量	—————	0.000 ~ 999999.999 kWh (MWh)
運転時間	—————	0.000 ~ 999999.999 h

表13 デジタル表示部の許容精度

測定要素	許容差 (デジタル表示)	許容差 (バーグラフ表示)	許容差 (トリントグラフ表示)
電圧	±0.5% of F.S	±1 バー	±1 ドット
電流	±0.5% of F.S	±1 バー	±1 ドット
周波数	±0.5% of F.S	±1 バー	±1 ドット
電力	±0.5% of F.S	±1 バー	±1 ドット
電力量	±2.0%	—————	—————
運転時間	±1h	—————	—————

(4) 集計装置 — PC通信仕様

(イ) 瞬時値情報取得

伝送手順

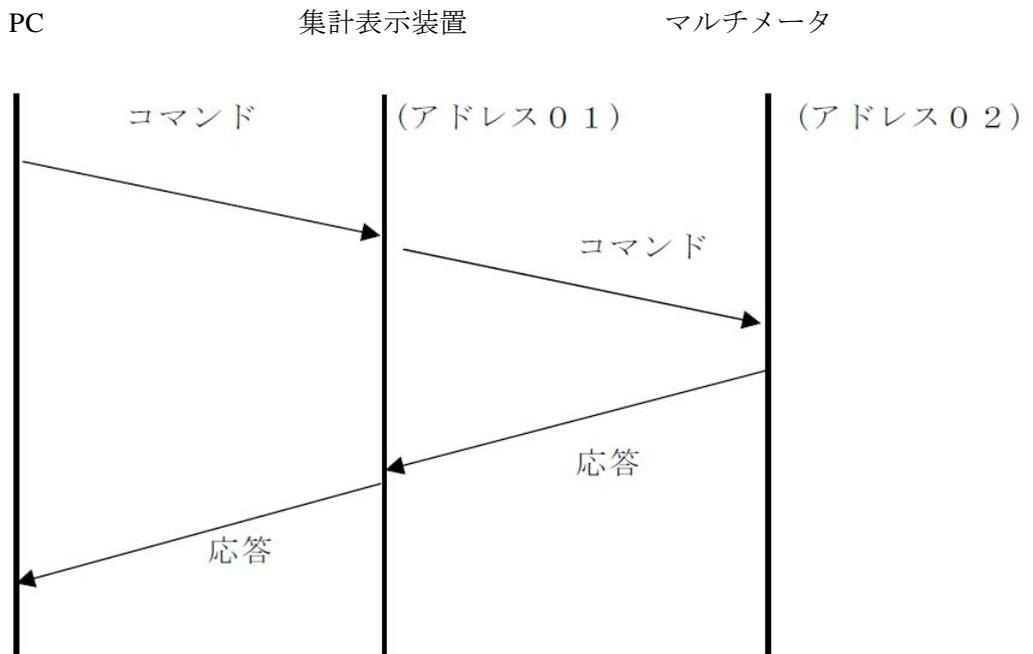


図 2 5 瞬時情報取得

PCから集計装置に同時に接続できるのは1台のみである。
 コマンド終了後、FINプロトコルで回線の切断を行う。

PC → 集計表示装置 (Modbus/TCP準拠) データフォーマット

テキスト構成



データ部

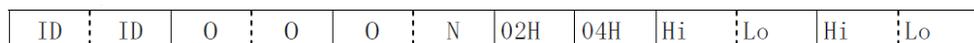


図 2 6 PC → 集計表示装置データフォーマット

- ID : トランザクション ID (PC 側の管理用 ID)
- アドレス : 02~05 (マルチメータのアドレス)
- ファンクション : 04H — 値の読込
- スタートアドレス : 読込を開始するレジスタアドレス (8ビットHEXデータ)
- ワード数 : 読込ワード数 (8ビットHEXデータ)

(ロ) ファイル読込
 伝送手順

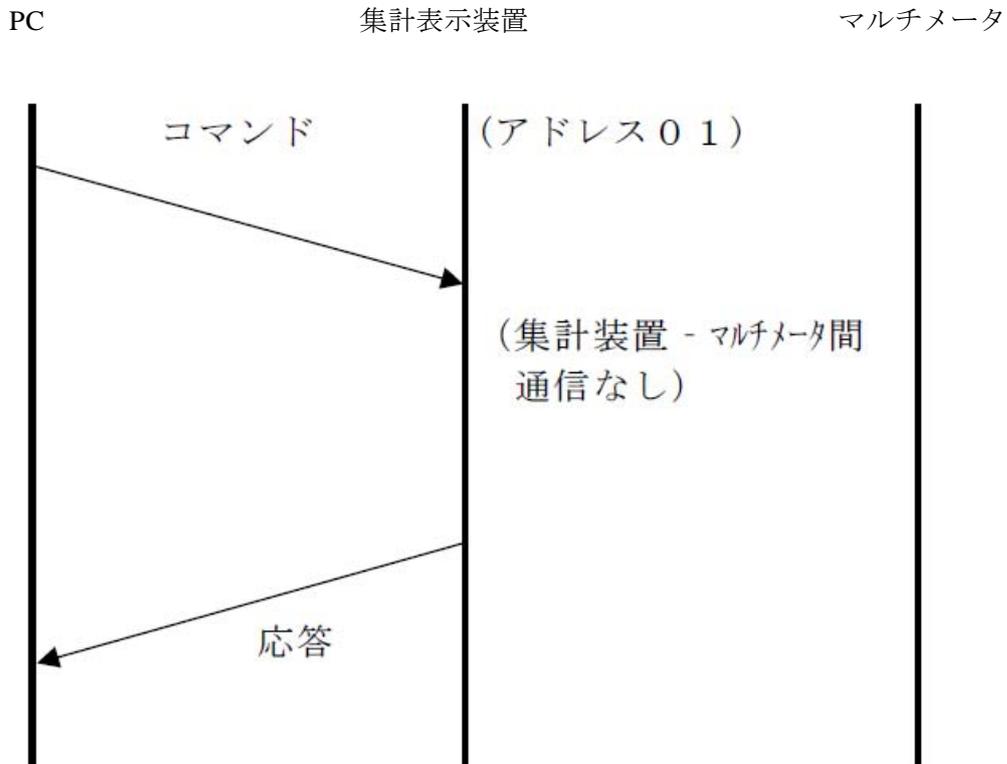
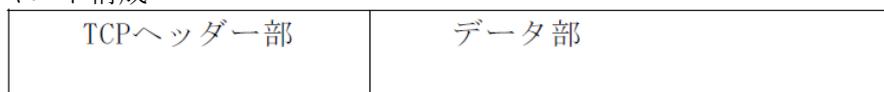


図 2 7 ファイル読込

ファイル読み込み時は、集計装置に対して、コマンド及び応答によるデータ交換を行う

テキスト構成



データ部



図 2 8 ファイル読込データフォーマット

Modbusコマンド 1 4H (ファイル読み込み) のみ対応

ファイル読み込みコマンド (1 4H)

指定したファイルNo (年/月/日/時/分) 及びレコードNo (計測要素) から指定したレコード長 (ワード数) だけ計測データを読み込む。

3.2.2 アプリケーションソフトウェアの詳細設計

(1) アプリケーションソフトウェアの構成要素

アプリケーションソフトウェア（以下、アプリケーション）が集計表示装置又はマルチメータから発電機データを収集するための通信設定を表14に示す。任意に設定変更できるが、変更後はプログラムの再起動が必要となる。通信の対象相手先によりプロトコルが定義される。

表14 プロトコル定義

項目	説明
ポート	RS422/Ethernet
ポート番号	RS422 の場合、COM 番号 Ethernet の場合、ポート番号
アドレス	RS422 の場合、ユニット番号 Ethernet の場合、相手先 IP アドレス（ユニット番号は1固定）
プロトコル	1:データ収集装置 2:スマートメーター 3:船内データ 4:時計データ の何れか
データ定義	プロトコルによって変更 プロトコル=1：表15 を参照 プロトコル=2：表16 を参照 プロトコル=3：表17 を参照 プロトコル=4：表18 を参照
送受信間隔	秒で指定
待ち時間	タイムアウト時間

表15 プロトコル=1：集計表示装置のデータ定義

項目名	タイプ	備考
ポート	1 バイト	通信設定のポートに存在すること
CHNO	8 バイト（英数）	全てのデータ定義で重複が無いこと
TAG NAME	30 バイト（英数）	
TAG ID	100 バイト（英数）	
アドレス	2 バイト	
バイト数	2 バイト	
R/W	1 バイト（数字）	0:Read、1:Write
ファンクションコード	1 バイト	0x03、0x04
小数桁	数字 1 文字	

表 1 6 プロトコル= 2 : マルチメータのデータ定義

項目名	タイプ	備考
ポート	1 バイト	通信設定のポートに存在すること
CHNO	8 バイト (英数)	全てのデータ定義で重複が無いこと
TAG ID	100 バイト (英数)	
アドレス	2 バイト	
バイト数	2 バイト	
R/W	1 バイト (数字)	0:Read、1:Write
ファンクションコード	1 バイト	0x03、0x04
小数桁	数字 1 文字	

表 1 7 プロトコル= 3 : 船内 LAN のデータ定義

項目名	タイプ	備考
ポート	1 バイト	通信設定のポートに存在すること
CHNO	8 バイト (英数)	全てのデータ定義で重複が無いこと
TAG ID	100 バイト (英数)	
センテンス ID	7 バイト (英数文字)	\$で始まること
カラム数	2 バイト	1~32
データタイプ	1 バイト	0:Boolean 1:Boolean+15bit 2:16bit
ステータス文字列 1	8 バイト	データタイプが 0or1 の時有効 True の場合の文字列
ステータス文字列 2	8 バイト	データタイプが 0or1 の時有効 False の場合の文字列
符号有無	1 バイト	0:符号無し 1:符号有り
小数桁	1 バイト	データタイプが 1or2 の時有効

表 1 8 プロトコル= 4 : 集計表示装置時刻セット

項目名	タイプ	備考
ポート	1 バイト	通信設定のポートに存在すること
アドレス	2 バイト	
バイト数	2 バイト	
R/W	1 バイト (数字)	0:Read、1:Write
ファンクションコード	1 バイト	0x10 固定

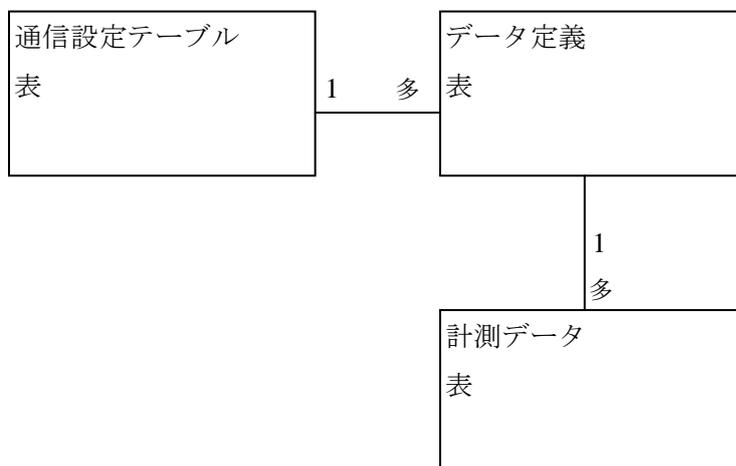
スマート電力計システムと通信するプロトコルを初回に定義ファイルを設定する画面を図 2 9 に示す。



図 2 9 プロトコル定義設定画面

(2) ソフトウェアユニットの詳細設計

受信データをデータベース (PostgreSQL) に保存する。データベースへの更新 (INSERT) 間隔は最短で 1 秒間隔である。データを更新した後、新たなデータの受信があるまでデータの更新 (INSERT) は行わない。データベース構造を図 3 0 に示す。



項目名	タイプ	備考
時刻	8 バイト	
CHNO	8 バイト (英数)	
ステータス	8 バイト (英数)	
データ	4 バイト (DECIMAL)	

図 3 0 データベース構造

受信データをデータベース（PostgreSQL）に保存する処理のフローチャートを図 3 1 に示す。

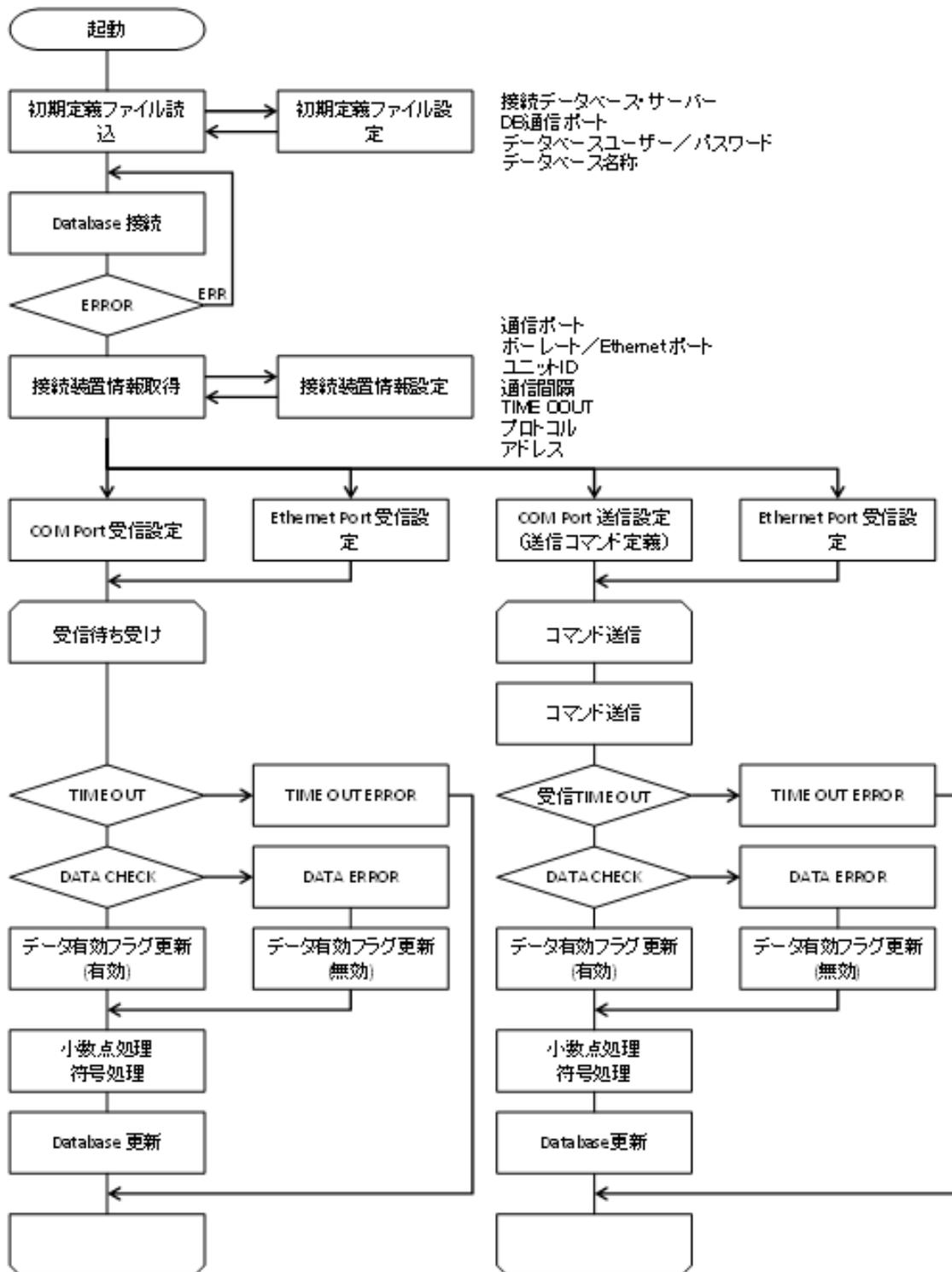


図 3 1 アプリケーションソフト通信部のフローチャート

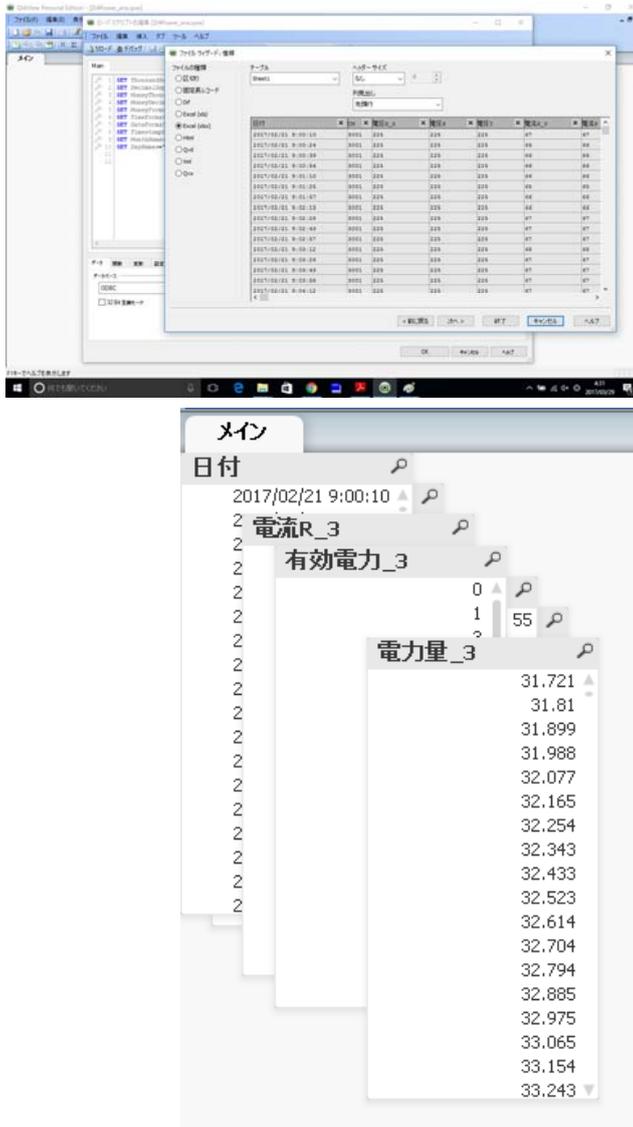
(3) モジュールの詳細設計

PostgreSQLで収集されるデータをアプリケーションが扱えるCSVファイル形式に変換する。アプリケーションを用いて表 1 9 のCSVファイルをロードスクリプトする。

表 1 9 CSVファイル

日付	CH	電圧R_3	電圧S	電圧T	電流R_3	電流S	電流T	有効電力_3	周波数_3	力率_3	電力量_3
2017/2/21 9:00	3001	225	225	225	67	67	67	22	59.8	0.83	31.721
2017/2/21 9:00	3001	225	225	225	66	66	66	21	59.8	0.83	31.81
2017/2/21 9:00	3001	225	225	225	66	66	66	21	59.8	0.83	31.899
2017/2/21 9:00	3001	225	225	225	66	66	66	21	59.8	0.83	31.988
2017/2/21 9:01	3001	225	225	225	66	66	66	21	59.8	0.83	32.077
2017/2/21 9:01	3001	225	225	225	65	65	65	21	59.8	0.83	32.165
2017/2/21 9:01	3001	225	225	225	66	66	66	21	59.8	0.83	32.254
2017/2/21 9:02	3001	225	225	225	66	66	66	21	59.8	0.83	32.343
2017/2/21 9:02	3001	225	225	225	67	67	67	22	59.8	0.83	32.433
2017/2/21 9:02	3001	225	225	225	67	67	67	22	59.8	0.83	32.523
2017/2/21 9:02	3001	225	225	225	67	67	67	22	59.8	0.83	32.614
2017/2/21 9:03	3001	225	225	225	68	68	68	22	59.8	0.82	32.704

アプリケーションは、データを図 3 2 のように各計測データロードスクリプトする。



項目

- CH
- 力率_3
- 周波数_3
- 日付
- 有効電力_3
- 電力量_3
- 電圧R_3
- 電圧S
- 電圧T
- 電流R_3
- 電流S
- 電流T

図 3 2 CSVファイル

(4) コンポーネントの詳細設計

アプリケーションにロードスクリプトされたデータは、図 3 3 のように各項目単位でまとまった表示をする。いずれかのデータを指定すれば、それに関連するデータの背景色が変わり、データの関連付けが認識される。また、図 3 4 のようにシートオブジェクトと呼ばれるデータをグラフ化するツールを装備している。

日付	電圧R_3	周波数_3	有効電力_3
2017/02/22 8:19:56	0	55	4
2017/02/21 9:00:10	1	55.5	0
2017/02/21 9:00:24	2	56	1
2017/02/21 9:00:39	10	57	3
2017/02/21 9:00:54	74	57.5	5
2017/02/21 9:01:10	87	58	6
2017/02/21 9:01:25	117	59	7
2017/02/21 9:01:57	178	59.7	8
2017/02/21 9:02:13	222	59.8	9
2017/02/21 9:02:28	224	59.9	10
2017/02/21 9:02:43	225	60	11
2017/02/21 9:02:57	226	60.1	12
2017/02/21 9:03:12	227	60.2	13
2017/02/21 9:03:28	228	60.3	14
2017/02/21 9:03:43	229		15
2017/02/21 9:03:58	231		16
2017/02/21 9:04:12	234		17
2017/02/21 9:04:27			18

電流R_3	力率_3	電力量_3
14	0.75	477.453
0	0.77	31.721
4	0.78	31.81
8	0.79	31.899
9	0.8	31.988
10	0.81	32.077
11	0.82	32.165
12	0.83	32.254
13	0.84	32.343
15	0.85	32.433
16	0.86	32.523
17	0.87	32.614
18	0.88	32.704
19	0.89	32.794
21		32.885
22		32.975
23		33.065
24		33.154

図 3 3 ロードスクリプトされたCSVデータ

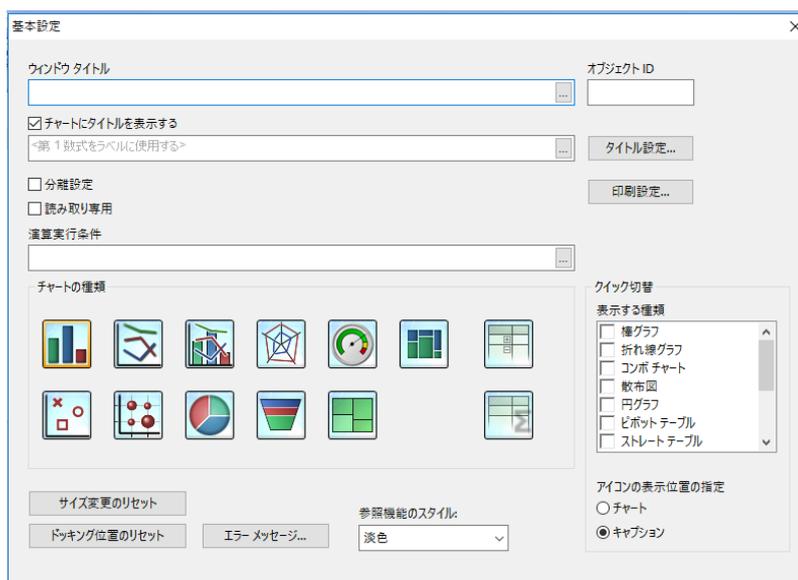


図 3 4 シートオブジェクト

3.3 スマート電力計の試作

3.3.1 プリント基板の試作（アートワーク、電子部品実装）

(イ) 中央データ処理部（CPU基板）アートワーク

中央データ処理部の部品面及び半田面のパターンを図35に示し、部品面及び半田面のシルクパターンを図36に示す。

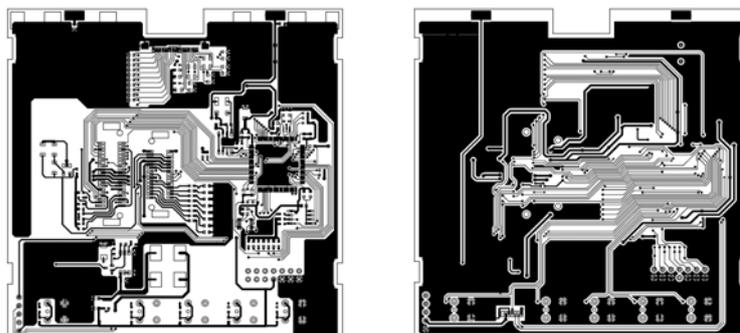


図35 部品面及び半田面のパターン

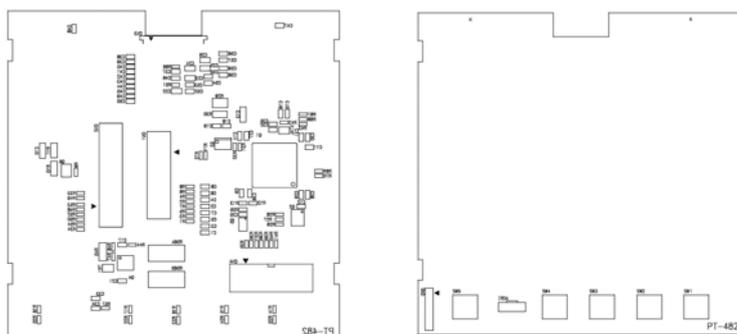


図36 部品面及び半田面のシルクパターン

(ロ) 入出力インターフェース部アートワーク

入出力インターフェース部の部品面及び半田面のパターンを図37に示し、部品面及び半田面のシルクパターンを図38に示す。

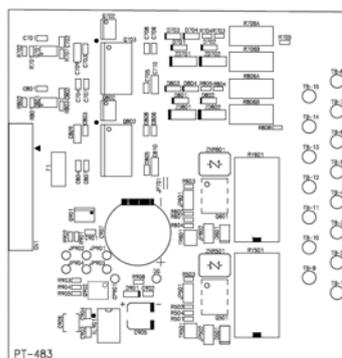


図37 部品面及び半田面のパターン

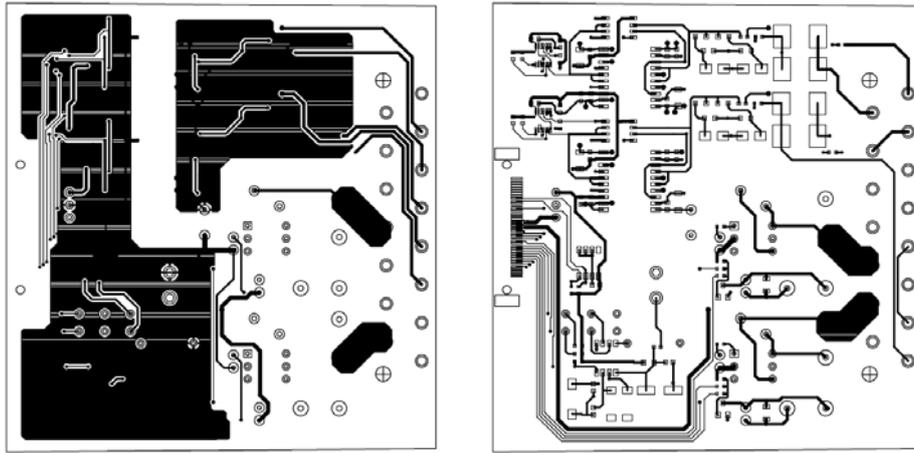


図 3 8 部品面及び半田面のパターン

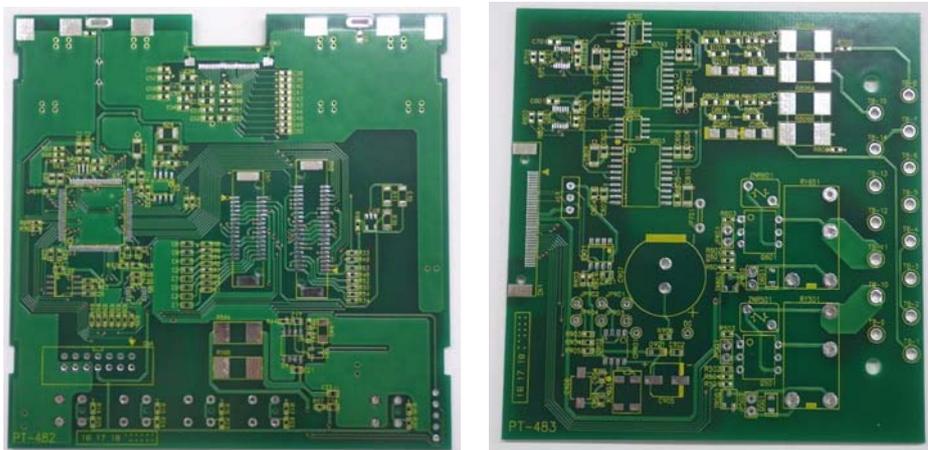


図 3 9 無垢基板

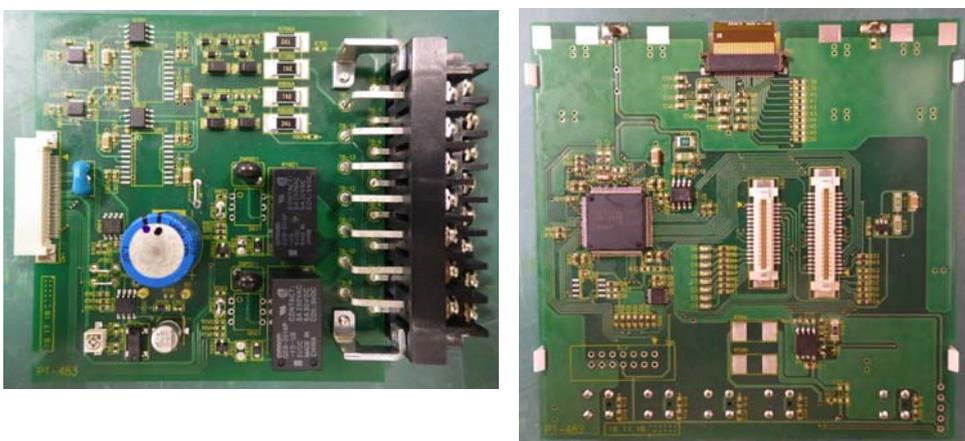


図 4 0 部品実装

3.3.2 ユニット筐体の試作

マルチメータ、集計表示装置及び拡張モータは、同一形状である。図4-1は、マルチメータ試作品の正面及び背面の形状を示す。詳細設計の仕様を満足する筐体に仕上げることができた。



図4-1 試作品の概観

3.4 スマート電力計の実船搭載による試験と評価

3.4.1 スマート電力計試作品の単体機能評価試験

- (イ) 試作品が詳細設計の外形寸法である事を確認した。
- (ロ) 試作品に基本設計に基づいた電圧、電流、周波数を与え、要求通りの値及び精度で表示されることを確認した。その結果を表20、表21、表22に示す。

表20 マルチメータ試作品1

測定項目	入力値	0%	15%	50%	75%	100%
電力	0.00 - 20.00 kW	0.00	4.99	9.99	15.01	20.00
周波数	45.00 - 66.00 Hz	45.00	50.00	55.00	60.00	66.00
RS 電圧	0 ~ 150.0 V	0.0	37.4	74.9	112.4	150.0
ST 電圧	0 ~ 150.0 V	0.0	37.5	75.1	112.5	150.0
TR 電圧	0 ~ 150.0 V	0.0	37.5	75.0	112.5	150.0
R 相電流	0 ~ 100.0 A	0.0	24.9	50.0	74.9	100.0
S 相電流	0 ~ 100.0 A	0.0	25.0	50.2	74.8	100.1
T 相電流	0 ~ 100.0 A	0.0	24.9	50.0	74.9	100.0

試験箇所	絶縁抵抗	耐電圧
入力回路 外箱	DC 500V 計測器 100MΩ 以上	AC 2,400V 60Hz 1 分間耐電圧
電流回路 電圧回路		
補助電源回路 入力回路、外箱		

表21 マルチメータ試作品2

測定項目	入力値	0%	15%	50%	75%	100%
電力	0.00 - 20.00 kW	0.00	4.98	9.99	15.00	20.02
周波数	45.00 - 66.00 Hz	45.00	50.00	55.00	60.00	66.00
RS 電圧	0 ~ 150.0 V	0.0	37.5	75.0	112.5	150.0
ST 電圧	0 ~ 150.0 V	0.0	37.5	74.9	112.5	150.0
TR 電圧	0 ~ 150.0 V	0.0	37.4	75.0	112.6	150.0
R 相電流	0 ~ 100.0 A	0.0	24.9	49.9	74.9	100.0
S 相電流	0 ~ 100.0 A	0.0	25.0	50.0	75.1	100.1
T 相電流	0 ~ 100.0 A	0.0	24.9	49.9	74.9	100.0

試験箇所	絶縁抵抗	耐電圧
入力回路 外箱	DC 500V 計測器 100MΩ 以上	AC 2,400V 60Hz 1 分間耐電圧
電流回路 電圧回路		
補助電源回路 入力回路、外箱		

表 2 2 マルチメータ試作品 3

測定項目	入力値	0%	15%	50%	75%	100%
電力	0.00 - 20.00 kW	0.00	4.99	9.98	14.99	20.00
周波数	45.00 - 66.00 Hz	44.99	50.00	55.00	60.00	66.01
RS 電圧	0 ~ 150.0 V	0.0	37.4	74.9	112.5	150.0
ST 電圧	0 ~ 150.0 V	0.0	37.4	75.0	112.5	150.0
TR 電圧	0 ~ 150.0 V	0.0	37.5	75.0	112.5	150.0
R 相電流	0 ~ 100.0 A	0.0	24.9	49.9	74.9	100.1
S 相電流	0 ~ 100.0 A	0.0	25.0	50.0	74.9	100.0
T 相電流	0 ~ 100.0 A	0.0	24.8	49.9	74.8	100.1

試験箇所	絶縁抵抗	耐電圧
入力回路 外箱	DC 500V 計測器 100MΩ 以上	AC 2, 400V 60Hz 1 分間耐電圧
電流回路 電圧回路		
補助電源回路 入力回路、外箱		

3. 4. 2 アプリケーションソフトウェアの模擬入力による単体評価試験

(ハ) 集計表示装置にデータが保存され、Ethernetを通じデータが上位システムに送出される事を確認した。その検証記録を表 2 3 に示す。

表 2 3 通信部評価検証記録

項番	大項目	要件番号	事前条件	テスト内容	予想結果	判定	備考	テスト実施日	実施担当者	チケットID	チェンジセットID
	電力量集計表										
	通信の確認		書込可能なレジスタ値をWRITE、READ試験を実施する	集計装置のIP AddressにPINGを送信する。	集計装置から応答が返される	○		2017/2/1	山田		
				書込ツールを使用して、Modbus TCPのFunction 0x10で、レジスタ「0060」に22を書き込む。	PCから、SYNコマンドの後、ACK、SYN、ACKの接続確率のあと、0x10で、レジスタ0060に22が書かれる。	○	0060から開始する。レジスタは、電力量集計装置レジスタを参照	2017/2/1	山田		
				書込ツールを使用して、Modbus TCPのFunction 0x10で、レジスタ「0062」に23を書き込む。	集計装置に Modbus Function 0x10で、レジスタ0062に23が書かれる。	○		2017/2/1	山田		
				書込ツールを使用して、Modbus TCPのFunction 0x10で、レジスタ「0064」に24を書き込む。	集計装置に Modbus Function 0x10で、レジスタ0064に24が書かれる。	○		2017/2/1	山田		
				書込ツールを使用して、Modbus TCPのFunction 0x10で、レジスタ「0072」に25を書き込む。	集計装置に Modbus Function 0x10で、レジスタ0072に25が書かれる。	○		2017/2/1	山田		
				書込ツールを使用して、Modbus TCPのFunction 0x10で、レジスタ「0074」に26を書き込む。	集計装置に Modbus Function 0x10で、レジスタ0074に26が書かれる。	○		2017/2/1	山田		
				書込ツールを使用して、Modbus TCPのFunction 0x10で、レジスタ「0076」に27を書き込む。	集計装置に Modbus Function 0x10で、レジスタ0076に27が書かれる。	○		2017/2/1	山田		
				書込ツールを使用して、Modbus TCPのFunction 0x10で、レジスタ「0078」に28を書き込む。	集計装置に Modbus Function 0x10で、レジスタ0078に28が書かれる。	○		2017/2/1	山田		
				書込ツールを使用して、Modbus TCPのFunction 0x10で、レジスタ「0082」に29を書き込む。	集計装置に Modbus Function 0x10で、レジスタ0082に29が書かれる。	○		2017/2/1	山田		
				書込ツールを使用して、Modbus TCPのFunction 0x10で、レジスタ「0084」に30を書き込む。	集計装置に Modbus Function 0x10で、レジスタ0084に30が書かれる。	○		2017/2/1	山田		
				書込ツールを使用して、Modbus TCPのFunction 0x10で、レジスタ「0110」に31を書き込む。	集計装置に Modbus Function 0x10で、レジスタ0110に31が書かれる。	○		2017/2/1	山田		
				TCPコネクションを切断する。	PCから、FINコマンドの後、ACK、FIN、ACKが送信され、コネクションが切断されることを確認する。			2017/2/1	山田		

3.4.3 実船搭載試験

(1) 実航海時の電力情報の収集

(イ) 実船搭載した深江丸の主要目

深江丸



船名	深江丸 (ふかえまる)		
船舶所有者	神戸大学	使用者	神戸大学大学院海事科学研究科
船種	練習船	船籍港	神戸
船名符字	J J 3 5 1 8		
造船所	三井造船 玉野事業所 (岡山県)	竣工	1987年10月14日
全長	49.95m	型幅	10.00m
型深さ	6.10/3.75m		
総トン数	449トン	国際総トン数	674トン
純トン数	202トン		
軽荷排水量	622.3トン	満載排水量	776.5トン
航行区域	近海区域 (非国際)	GMDSS	A2水域
最大搭載人員	64名 (船長・機関長・士官4・部員6・教官4・学生48)		
主機関	4サイクルディーゼルエンジン×1基		
機関出力	最大1,100kW (1,500HP)×720rpm / 常用900kW (1,200HP)×672rpm		
発電機	ディーゼル発電機 (300HP×1,200rpm) ×2基・軸発電機×1基		
推進器	4翼可変ピッチ スキュープロペラ×1 / 直径2.10m (一軸左回り)		
横移動装置	バウスラスト (推力1.5トン) ×1・スタンスラスト (推力1.2トン) ×1		
航海速度	12.5ノット	試験最大速度	14.28ノット
航続距離	3,000海里 (約5,500km)		
錨	KS-8改良型 (重量965kg) ×3 (右舷・左舷・予備)		

(ロ) 深江丸の機関係主要目

機器	形式		製造者
主機関	4サイクル ディーゼル機関	× 1 基	ダイハツ
	形式： 6DLM-26S		
	定格出力： 1,100kW(1,500PS)×720rpm		
	シリンダ×径×行程： 6×260mm×340mm		
	制御装置： 電気式遠隔操縦装置		
アクティブ防振ダンパ	MITSUI SUPER-ISOLATOR	× 1 式	三井造船
推進器	4翼可変ピッチ スキュープロペラ・直径2,100mm	× 1 軸	かもめプロペラ
主空気圧縮機	25.2m ³ /h ・ 3MPa	× 2 台	松原鉄工所
燃料油清浄機	SJ-700 1,500リットル/h	× 1 台	三菱化工機
潤滑油清浄機	SJ-700 1,500リットル/h	× 1 台	三菱化工機
油水分離機	UST-05 500リットル/h	× 1 台	大晃機械
主発電機	ディーゼル発電機	× 2 式	
	原動機： S165L-T 250kW×1,200rpm	(× 2 台)	ヤンマー
	発電機： 3相225V・60Hz・250kVA	(× 2 台)	西芝電機
軸発電機	3相225V・60Hz・250kVA	× 1 台	富士電機
非常用発電機	F3L912	× 1 台	三井ドイツ
	(原動機) 30kW×1,800rpm		
	(発電機) 225V・30kVA		

(ハ) 主配電盤に計器用変圧器、変流器を実装

マルチメータの定格電圧、電流に合致する値にするため、計器用変圧器と変流器を実装した。計器用変圧器は、ヒューズ経由で接続した。実装の系統を図4 2に示す。

神戸大学に停泊している深江丸において、スマート電力計システムと周辺機器を実装した。

実装日時：2017年2月15日～2月16日

場所：神戸大学 深江キャンパス内

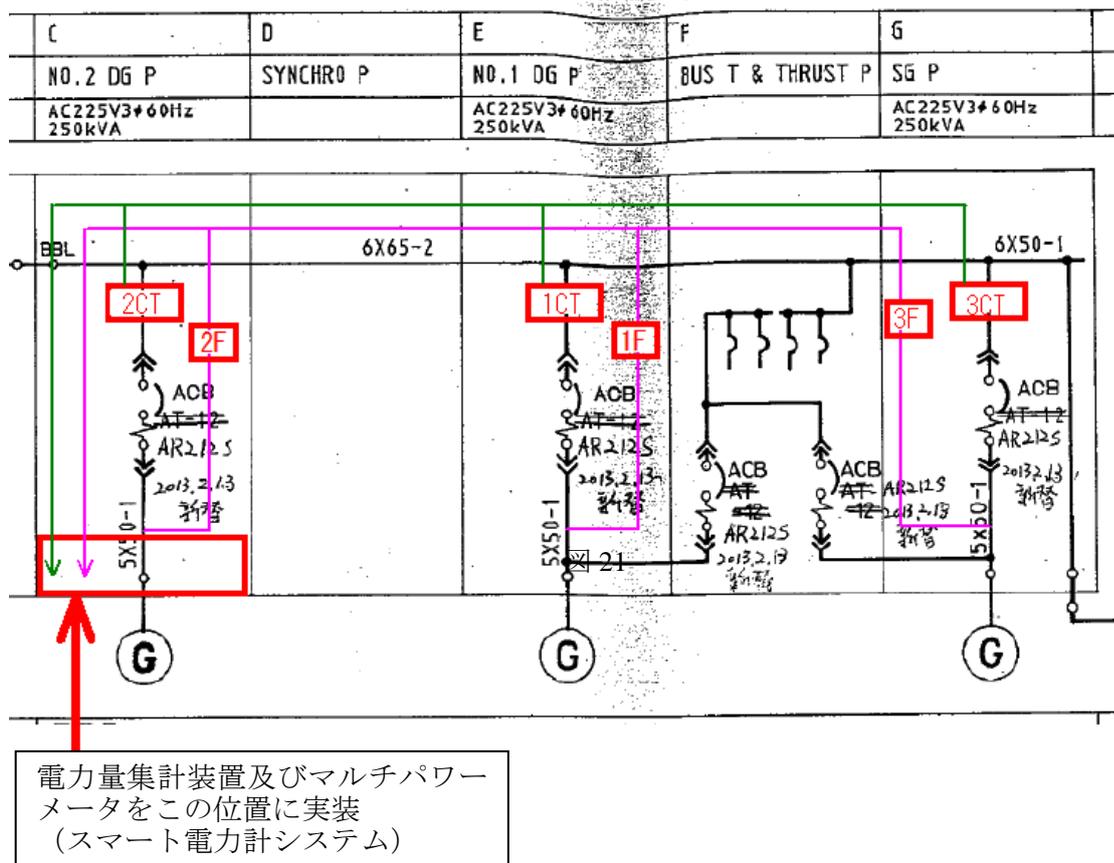


図4 2 スマート電力計システム及び盤内結線

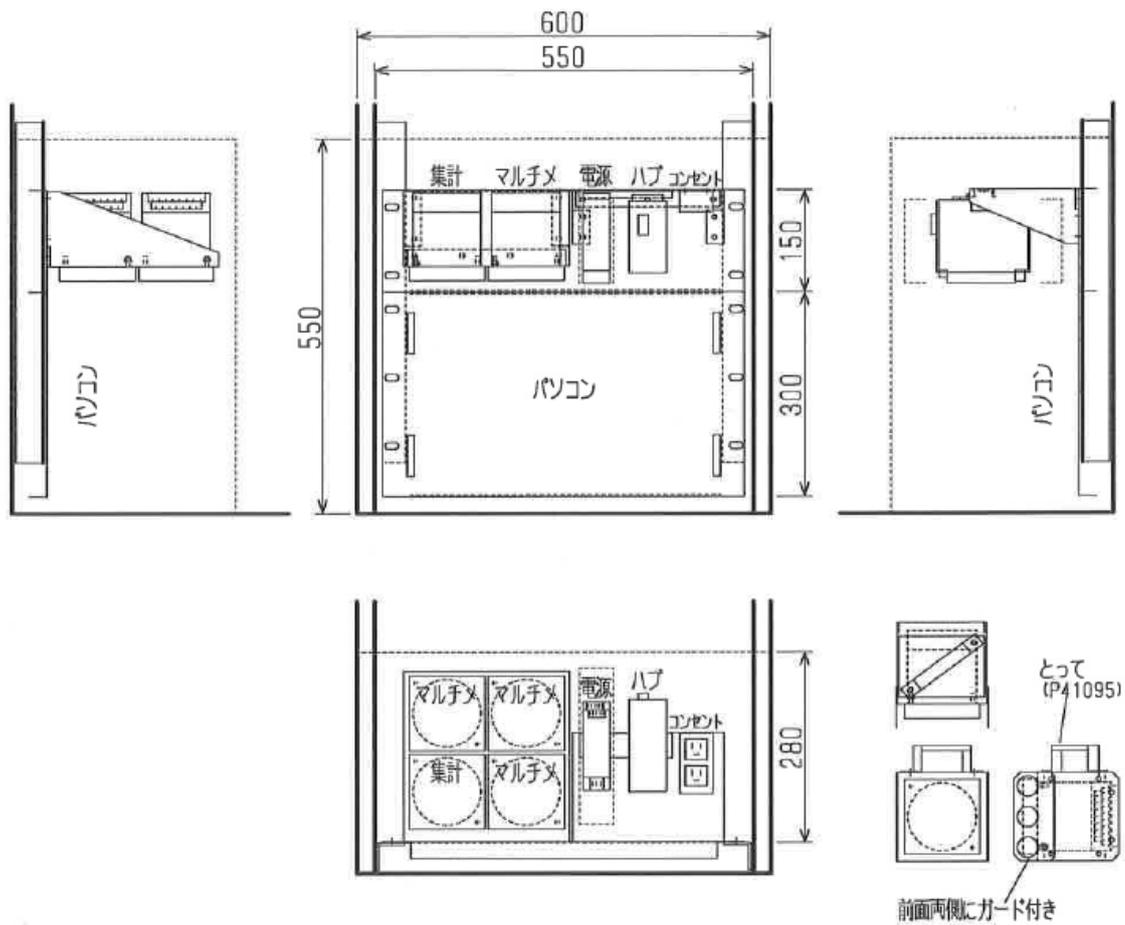


図 4 3 実船試験用試作スマート電力計システムの外形



図 4 4 変流器を実装

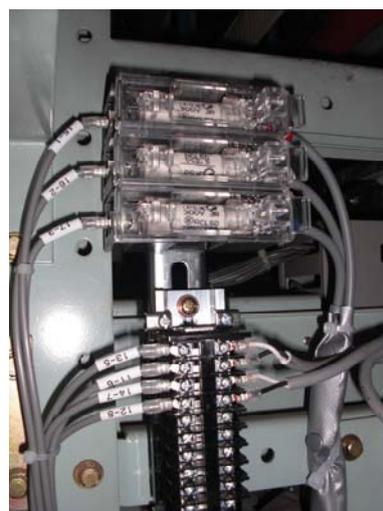


図 4 5 保護用ヒューズ経由で計器用変圧器を実装



図 4 6 船用スマート電力計の外観



データを一時保存する
ノートPC

図 4 7 船用スマート電力計の据え付け

(2) アプリケーションソフトウェアを用いた性能評価及び検証

2017年2月21日～2月26日の間、深江丸が香川県高松港へ航海を実施した。本船に搭載したスマート電力計及びアプリケーションソフトウェアが収集した電力データを表24、表25に示す。

表24 NO. 1発電機の電力情報

日付	CH	電圧R_2	電圧S	電圧T	電流R_2	電流S	電流T	有効電力_2	周波数_2	力率_2	電力量_2
2017/2/23 8:59	2001	226	225	227	52	51	52	15.57	59.9	0.77	161.87
2017/2/23 9:00	2001	226	225	226	51	50	52	15.35	59.9	0.77	161.934
2017/2/23 9:00	2001	226	225	226	50	51	51	15.25	59.9	0.77	161.998
2017/2/23 9:00	2001	226	225	226	51	51	50	15.25	59.9	0.77	162.061
2017/2/23 9:00	2001	225	225	226	51	51	51	15.33	59.9	0.77	162.125
2017/2/23 9:01	2001	225	225	226	51	51	51	15.33	59.9	0.77	162.189
2017/2/23 9:01	2001	226	225	226	51	50	51	15.25	59.9	0.77	162.252
2017/2/23 9:01	2001	226	225	226	50	50	51	15.15	59.9	0.77	162.315
2017/2/23 9:01	2001	226	226	226	50	51	50	15.17	59.9	0.77	162.379
2017/2/23 9:02	2001	226	226	226	51	54	50	15.57	59.9	0.77	162.444
2017/2/23 9:02	2001	226	225	226	54	51	51	15.65	59.9	0.77	162.509
2017/2/23 9:02	2001	226	225	226	51	51	54	15.65	59.9	0.77	162.574
2017/2/23 9:02	2001	226	225	226	51	52	51	15.45	59.9	0.77	162.638
2017/2/23 9:03	2001	226	225	226	52	52	51	15.55	59.9	0.77	162.703
2017/2/23 9:03	2001	226	225	226	52	52	52	15.65	59.9	0.77	162.768
2017/2/23 9:03	2001	226	226	227	52	51	52	15.6	59.9	0.77	162.833
2017/2/23 9:03	2001	226	226	226	51	51	52	15.47	59.9	0.77	162.898
2017/2/23 9:04	2001	226	226	226	51	50	51	15.27	59.9	0.77	162.961
2017/2/23 9:04	2001	226	226	226	50	49	51	15.07	60	0.77	163.024
2017/2/23 9:04	2001	226	226	226	49	48	50	14.77	60	0.77	163.086
2017/2/23 9:04	2001	226	226	226	48	48	49	14.57	60	0.77	163.146
2017/2/23 9:05	2001	226	225	226	48	48	48	14.45	60	0.77	163.207
2017/2/23 9:05	2001	226	225	226	48	48	48	14.45	60	0.77	163.267
2017/2/23 9:05	2001	226	226	226	48	48	48	14.47	60	0.77	163.327
2017/2/23 9:05	2001	226	226	226	48	48	48	14.47	60	0.77	163.387
2017/2/23 9:06	2001	226	226	226	48	48	48	14.47	60	0.77	163.448
2017/2/23 9:06	2001	226	226	226	48	48	48	14.47	60	0.77	163.508
2017/2/23 9:06	2001	226	226	226	48	49	48	14.57	60	0.77	163.569
2017/2/23 9:07	2001	226	226	227	49	49	48	14.69	60	0.77	163.63
2017/2/23 9:07	2001	226	226	226	49	48	49	14.67	60	0.77	163.691
2017/2/23 9:07	2001	226	226	226	48	48	49	14.57	60	0.77	163.752
2017/2/23 9:07	2001	226	226	226	48	48	48	14.47	60	0.77	163.812
2017/2/23 9:08	2001	226	226	226	48	49	48	14.57	60	0.77	163.873
2017/2/23 9:08	2001	226	226	226	49	49	48	14.67	60	0.77	163.934
2017/2/23 9:08	2001	226	226	226	49	49	49	14.77	60	0.77	163.995
2017/2/23 9:08	2001	226	226	226	49	48	49	14.67	60	0.77	164.056

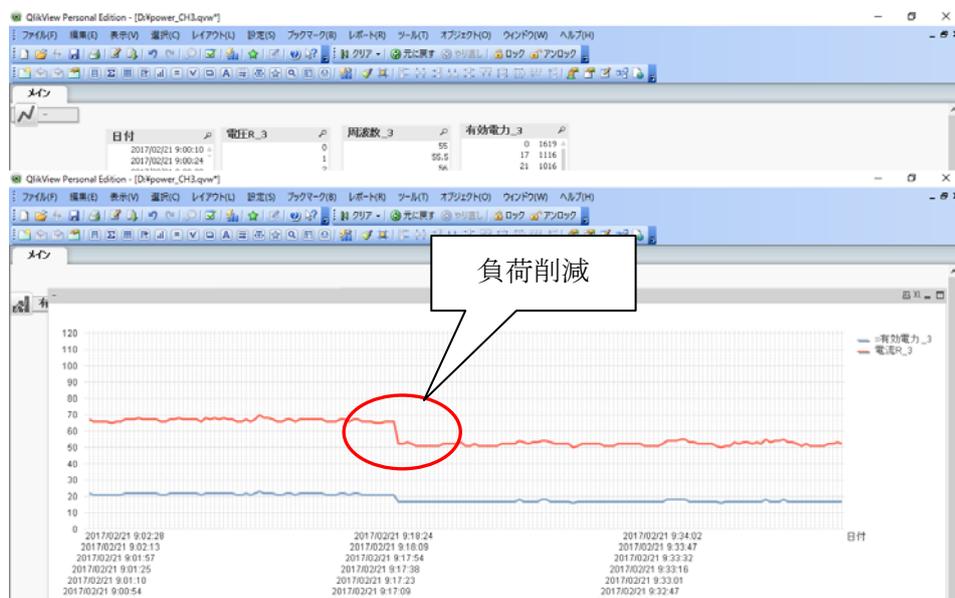


図48 電力及び電流のトレンドグラフ

表 2 5 NO. 2 発電機の電力情報

日付	CH	電圧R_3	電圧S	電圧T	電流R_3	電流S	電流T	有効電力_3	周波数_3	力率_3	電力量_3
2017/2/21 11:57	3001	226	226	226	61	61	61	19	59.9	0.81	80.455
2017/2/21 11:57	3001	226	226	226	61	61	61	19	59.9	0.81	80.536
2017/2/21 11:58	3001	225	225	225	61	61	61	19	59.9	0.81	80.616
2017/2/21 11:58	3001	225	225	225	61	61	61	19	59.9	0.81	80.696
2017/2/21 11:58	3001	226	226	226	61	61	61	19	59.9	0.81	80.777
2017/2/21 11:58	3001	226	226	226	60	60	60	19	59.9	0.81	80.856
2017/2/21 11:59	3001	226	226	226	60	60	60	19	59.9	0.81	80.935
2017/2/21 11:59	3001	226	226	226	60	60	60	19	59.9	0.81	81.015
2017/2/21 11:59	3001	225	225	225	59	59	59	19	59.9	0.81	81.092
2017/2/21 11:59	3001	225	225	225	60	60	60	19	59.9	0.81	81.171
2017/2/21 12:00	3001	225	225	225	61	61	61	19	59.9	0.81	81.251
2017/2/21 12:00	3001	226	226	226	61	61	61	19	59.9	0.81	81.332
2017/2/21 12:00	3001	226	226	226	62	62	62	20	59.9	0.81	81.414
2017/2/21 12:00	3001	226	226	226	61	61	61	19	59.9	0.81	81.494
2017/2/21 12:01	3001	226	226	226	56	56	56	18	59.9	0.82	81.569
2017/2/21 12:01	3001	226	226	226	54	54	54	17	59.9	0.82	81.642
2017/2/21 12:01	3001	226	226	226	53	53	53	17	60	0.82	81.712
2017/2/21 12:01	3001	226	226	226	53	53	53	17	60	0.82	81.783
2017/2/21 12:02	3001	225	225	225	53	53	53	17	60	0.82	81.854
2017/2/21 12:02	3001	225	225	225	51	51	51	16	60	0.83	81.923
2017/2/21 12:02	3001	225	225	225	53	53	53	17	60	0.82	81.993
2017/2/21 12:03	3001	225	225	225	54	54	54	17	59.9	0.82	82.065
2017/2/21 12:03	3001	225	225	225	54	54	54	17	59.9	0.82	82.137
2017/2/21 12:03	3001	225	225	225	54	54	54	17	59.9	0.82	82.209
2017/2/21 12:03	3001	226	226	226	55	55	55	18	59.9	0.82	82.283
2017/2/21 12:04	3001	226	226	226	55	55	55	18	59.9	0.82	82.356
2017/2/21 12:04	3001	226	226	226	54	54	54	17	59.9	0.82	82.428
2017/2/21 12:04	3001	225	225	225	54	54	54	17	59.9	0.82	82.5
2017/2/21 12:04	3001	225	225	225	53	53	53	17	60	0.82	82.571
2017/2/21 12:05	3001	225	225	225	53	53	53	17	59.9	0.82	82.641
2017/2/21 12:05	3001	225	225	225	52	52	52	17	60	0.82	82.711
2017/2/21 12:05	3001	225	225	225	53	53	53	17	59.9	0.82	82.781
2017/2/21 12:06	3001	225	225	225	53	53	53	17	59.9	0.82	82.852
2017/2/21 12:06	3001	225	225	225	53	53	53	17	59.9	0.82	82.922
2017/2/21 12:06	3001	226	226	226	54	54	54	17	59.9	0.82	82.995
2017/2/21 12:06	3001	226	226	226	54	54	54	17	59.9	0.82	83.067
2017/2/21 12:07	3001	226	226	226	54	54	54	17	59.9	0.82	83.139
2017/2/21 12:07	3001	226	226	226	54	54	54	17	59.9	0.82	83.211
2017/2/21 12:07	3001	226	226	226	54	54	54	17	59.9	0.82	83.283
2017/2/21 12:07	3001	226	226	226	54	54	54	17	59.9	0.82	83.356

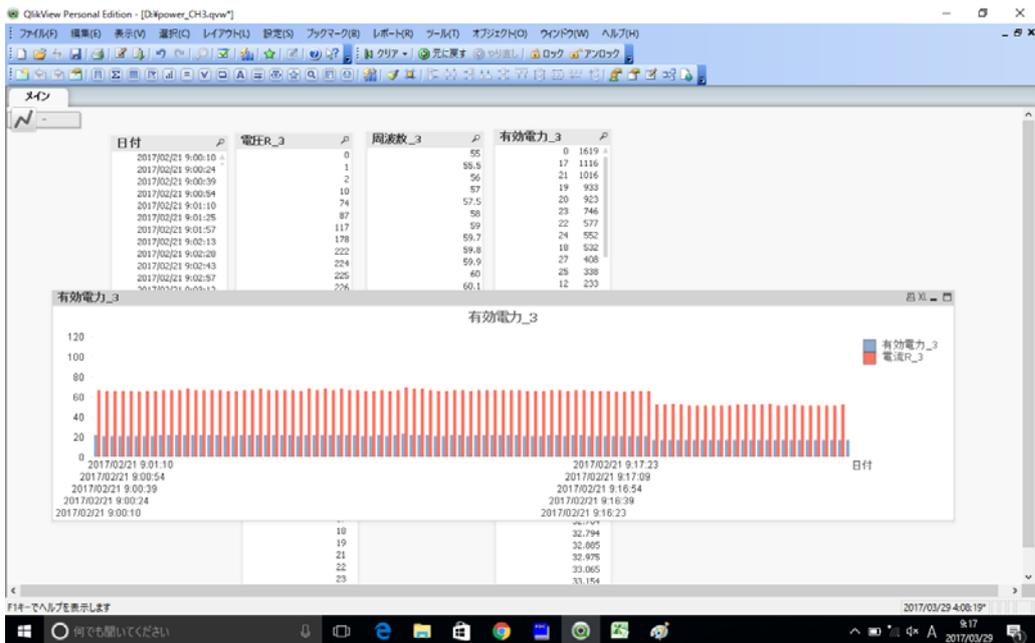


図 4 9 電力及び電流のバーグラフ

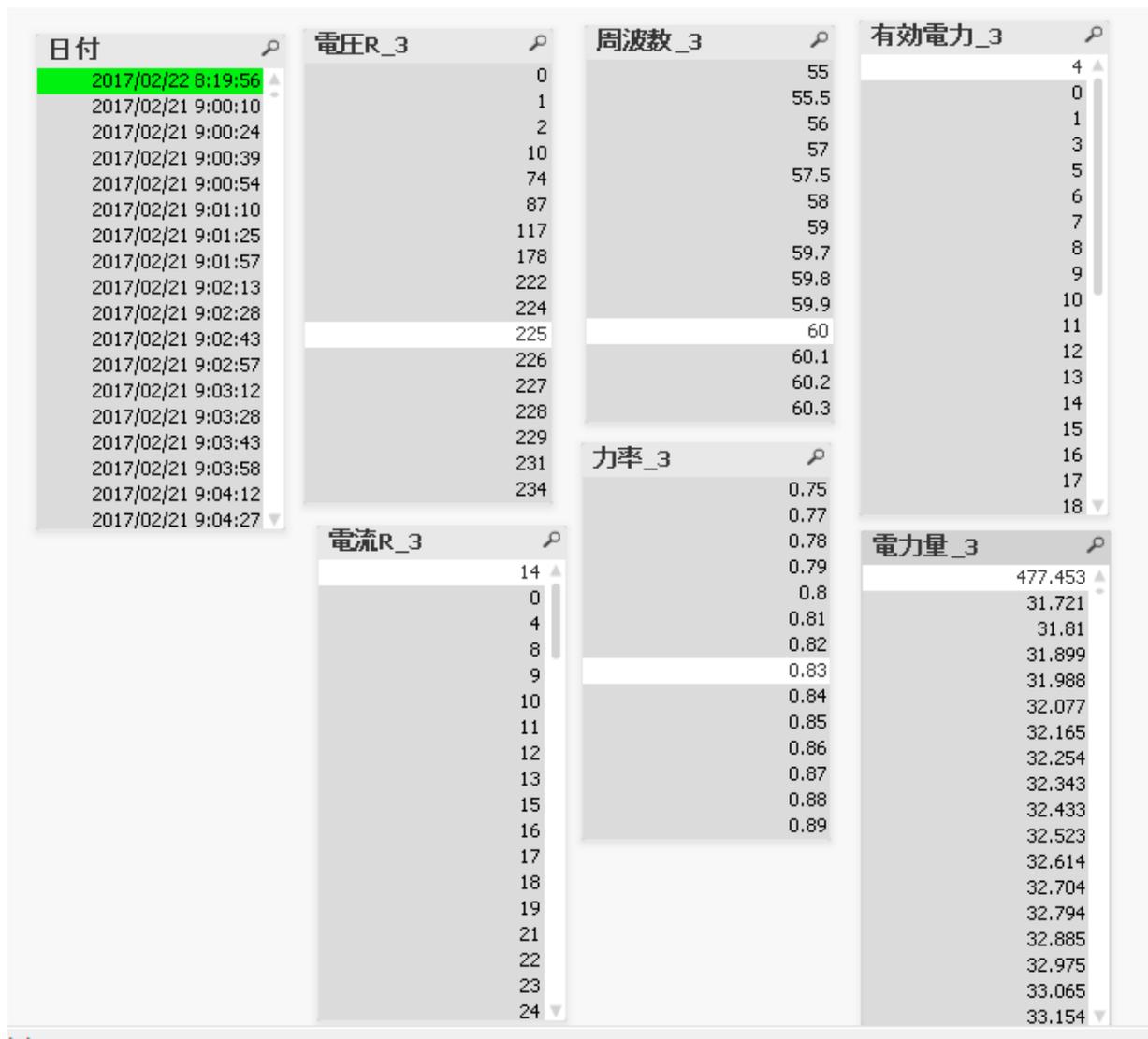


図 5 0 電力及び電流のトレンドグラフ

スマート電力計から電力情報は、図 5 0 のように時系列に展開される。収集する電圧、電流、周波数等、時系列に紐づくデータは、全て取り込めることができ、アプリケーション内部で自由に加工ができる。図 4 8、図 4 9 のようにトレンドグラフ、バークラフ、最大最小値の検出等多様な機能と表現でユーザに電力の推移を示すことができる。深江丸は、発電機を並列運転する時間は、切り替え時のみで並列における電力値の推移を把握することができなかつた。単独運転における電力推移から不要と思われる負荷を切り離すことにより電力量を約 1 0 % 低減することが確認できた。今後、長期間にわたる電力情報を収集することにより船内での電力負荷状況をより細かく把握することができ、本システムが発電機の負荷低減に寄与すると思われる。

4. 目標の達成状況

【申請時の目標】

- 1) 船用スマート電力計を試作し、電力使用量を10%低減する。

船用スマート電力計に収集、蓄積されたデータを「見える化」アプリケーションソフトウェアを用いてデータの分析と解析を行う。その際、船内の周辺機器の発停情報及び負荷電力情報、そしてこれらの時系列情報を重ね合わせて分析、解析する。「見える化」アプリケーションソフトウェアは、電力の使用状況を定量的に把握すると共に、電力使用状況を診断し、使用電力量を10%低減可能な対策（機器運転台数、運転手順、運転時間など）を導き出す。

- 2) 電力の「見える化」を実現するアプリケーションソフトを製作する

時系列に蓄積された電力情報から電力使用量をグラフ化するなどして、容易に把握できるように視覚化する。そして、船舶の位置情報、出入港中、荷役中などの運航状態や気象・海象情報と電力使用情報を重ね合わせ、船舶運航や環境と船内電力負荷との関連性を視覚化する。また、蓄積されたデータを最大、最小、平均値、偏差など、任意にユーザー条件設定を選択して、多角的なデータ処理・分析する機能を持つ。そして、電力使用量を診断した結果、削減するための対策案を導き出す機能を構築する。

【目標の達成状況】

目標の1)については、神戸大学の練習船（深江丸）に試作したスマート電力計を搭載して実航海時の電力情報を収集し、その情報をもとにアプリケーションソフトを用いて、船内の電力使用状況等から削減可能な対策を導き出し、電力使用量を10%削減することができたため、目標を達成することができた。

目標の2)については、電力使用量はバーグラフやトレンドグラフ化して、容易に把握できるように視覚化ができた。そして、船舶の位置情報、出入港中、荷役中などの運航状態や気象・海象情報と電力使用情報を重ね合わせ、船舶運航や環境と船内電力負荷との関連性を視覚化することができた。また、蓄積されたデータを最大、最小、平均値、偏差については、任意にユーザー条件設定を選択して、多角的なデータ処理・分析する機能を持たせることができた。そして、電力使用量を診断した結果、削減するための対策案を導き出す機能も構築できたため、目標を達成することができた。

5. 船用スマート電力計の今後の取り組み

- (1) 深江丸には、本システムを半年以上実装してデータ蓄積を行い、データ分析を継続して進める。
- (2) フェリー等入出港を頻繁に繰り返す船舶に本システムを実装して情報収集と分析を行う。
- (3) データ蓄積と分析及び乗組員の意見を反映したアプリケーションソフトウェアの改善を行う。

(4) 船用スマート電力計とアプリケーションソフトウェアをパッケージ化した商品カタログを作成し、平成30年の販売開始を目指す。

6. まとめ

船用スマート電力計は、コンパクトでありながら、多くの機能が凝縮されている。配電盤内への接続が容易であるため、電力の「見える化」を少ない投資で実現することが可能になる。

最後に本開発に関して公益財団法人日本財団からモーターボート競走共益資金による補助金を受けて実施しており、ここに記して厚く感謝申し上げます。

「この報告書は BOAT RACE の交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました」

(一社)日本船用工業会

〒105-0001

東京都港区虎ノ門一丁目13番3号(虎ノ門東洋共同ビル)

電話：03-3502-2041 FAX:03-3591-2206

<http://www.jsmea.or.jp>