

論文

Motionnet 通信品質シミュレーションと実機評価

佐藤 研\*<sup>1)</sup> 佐野 宏靖\*<sup>1)</sup> 野中 徹\*<sup>2)</sup> 寺崎 隆\*<sup>2)</sup>

Simulation of Motionnet communication quality and real circuit development

Ken Sato\*<sup>1)</sup>, Hiroyasu Sano\*<sup>1)</sup>, Toru Nonaka\*<sup>2)</sup>, Takashi Terasaki\*<sup>2)</sup>

Motionnet is a serial communication system for FA developed by Nippon Pulse Motor Co. Ltd. It can connect with up to 64 units with variable cable connection length, speed of communication and flexibility. However, due to its flexibility, confirming the communication waveform distortion before system construction is difficult. Yet there is no guideline for communication quality when developing its base units. To resolve these two problems, we made simulation models of units and cables. The cable-model is variable length. Then sample boards were developed in accordance with the new guide lines. The comparison of simulation and real waveform shows strong similarity. There is a relation between total cable length and communication quality; however there were exceptions for some cable length combinations. The new sample boards decreased emissions by about 20dB.

キーワード：モーションネット, RS-485, ケーブル, シミュレーション

Keywords : Motionnet, RS-485, Cable, Simulation

1. まえがき

日本パルスモーター株式会社の FA 業界向けのシリアル通信システム: Motionnet は, 最大 64 個のユニットが接続可能である。しかし, 接続ユニット数, ユニット間の通信速度やケーブル長の組み合わせなど運用形態が多彩で, 敷設するまで通信波形のひずみが確認できないという問題があった。また通信品質確保のための開発サポート環境が充実していないという問題もあった。これらの問題を解決するため, 次の二項目について確認と試作・評価を行った。

- (1) 通信波形のゆがみのシミュレーション (Motionnet 通信波形の予測)
- (2) 通信品質を評価する際の通信限界の予測 (通信品質評価方法の確立)

また, あわせて EMC 対策の効果を確認するための開発指標となるサンプル基板の試作・評価を行った。

2. Motionnet 通信波形の予測

2.1 シミュレーションモデルの構築 シミュレーションで通信波形を予測するために, 各種ユニットの使用部品, 製品基板のシミュレーションモデルを構築した。Motionnet のセンターユニット, ローカルユニットの通信部分の回路を図 1, 図 2 に示す。構築したシミュレーションモデルを図 3, 図 4 に示す。

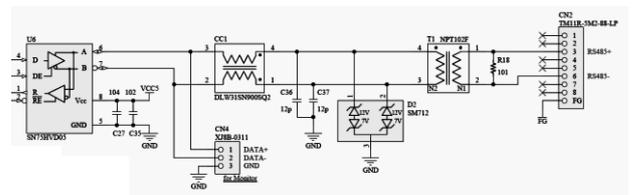


図 1. センターユニット回路

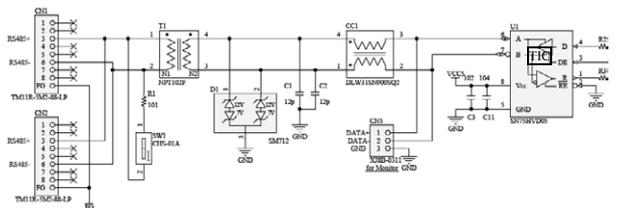


図 2. ローカルユニット回路

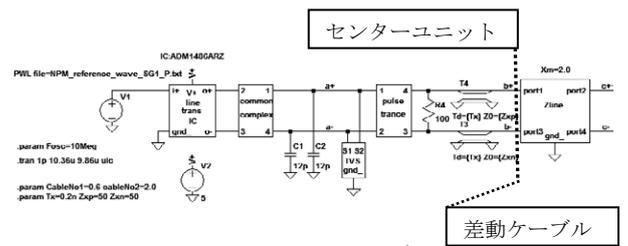


図 3. センターユニットモデル

事業名 平成 23 年度 共同研究  
 \* 1) 電子・機械グループ  
 \* 2) 日本パルスモーター株式会社

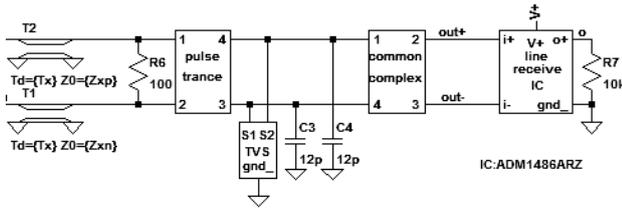


図 4. ローカルユニットモデル

図 3 の右側部分は差動ケーブルのモデルである。このケーブルの長さはシステム構成によって異なることが多いため、差動ケーブルのモデル化にあたり、ケーブル長をパラメータ化することが必須である。

ケーブルのモデル化形態には次の三種類があげられる。

- S パラメータモデル
- RLGC モデル
- T-LINE モデル

それぞれについて検討を行ったところ、S パラメータモデルと RLGC モデルは、ケーブル長ごとに測定してモデルを作成する必要があるが、ケーブル長をパラメータ化できないことが判明した。よって今回は T-LINE でのモデル化を選択するに至った。ただし、T-LINE モデルは無損失 (R=0, G=0) であるので、損失モデルの挿入が必要である。そこで 10Mbps の通信速度を考慮し、直流抵抗と表皮効果の影響の 2 つの損失モデルを組み込んだ<sup>(1)(2)</sup>。

### 2.2 シミュレーションモデルの評価

実測とシミュレーションとで通信波形を比較し、シミュレーションモデルの精度を評価した。実測にはオシロスコープと差動アクティブプローブを使い、ローカルユニット搭載トランシーバ IC の入出力ピンの波形を実測した。測定ブロックを図 5 に示す。各ローカルユニットはデジチェーンで接続され、最後のユニットは 100Ω で終端した。

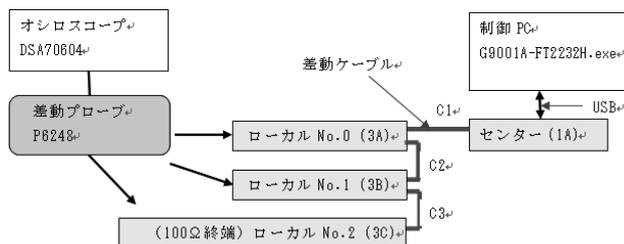


図 5. 測定ブロック

ユニット間接続の差動ケーブル長の組み合わせを、(C1: 3m, C2: 0.6m, C3: 0.6m) と (C1: 5m, C2: 0.6m, C3: 3m) とした時の実測値とシミュレーション結果を図 6, 図 7 に示す。左が実測波形、右がシミュレーション波形である。レベルは多少の違いが残るものの、波形の特徴は正確にシミュレーションで再現できており、構築したシミュレーションモデルは実用に耐える精度を有している。

また、差動ケーブル長の組合せを変更しても通信波形の

シミュレーション結果が実測値とほぼ一致していることから、ケーブル長のパラメータ化も成功したといえる。これらを使い敷設前にシミュレーションすることで通信品質に悪影響を与える組合せを排除することが可能となる。

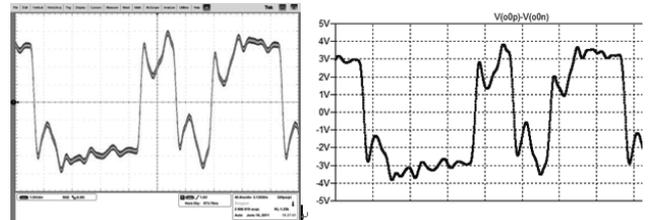


図 6. ケーブル長組合せ (3m-0.6m-0.6m) 波形比較  
左: 実測 右: シミュレーション

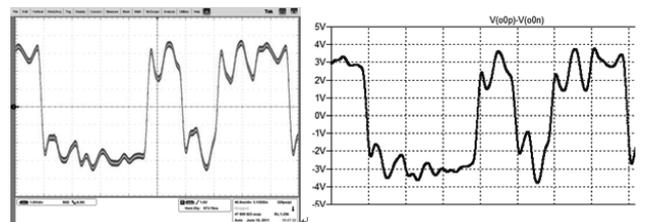


図 7. ケーブル長組合せ (5m-0.6m-3m) 波形比較  
左: 実測 右: シミュレーション

## 3. 通信品質評価方法の確立

RS-485 の 1 対 1 での通信品質評価<sup>(3)</sup>において、ケーブル長とジッタの関係から通信限界などの予測がおこなわれている。Motionnet のようなデジチェーンで接続される場合でも適用可能かどうかを検討するため、ユニット間の総ケーブル長とジッタの関係を測定し、デジチェーン接続での通信評価方法を模索した。

3.1 実験方法 測定ブロックは図 5 に示したシミュレーションモデルの評価と同じであるが、センターユニットからは評価用信号を出力できるように改造したものを用いた。通信速度は 10Mbps とし、アイパターンを使って波形を評価した。

3.2 結果 各ユニット間ケーブルの総ケーブル長 (接続したケーブルの足し算) とローカルユニット No.2 (終端ユニット) でのトランシーバ IC (図 2 TIC) の入力ジッタ及び出力 Duty の関係を表 1 及び図 8 に示す。

表 1. ジッタ・Duty・総ケーブル長の関係

測定 No.	ケーブル組み合わせ (C1, C2, C3)	総ケーブル長さ [m]	TIC 入力 のジッタ [ns]	TIC 出力 の Duty 幅 [ns]
1	0.6m, 0.6m, 0.6m	1.8	1	49.4
2	0.6m, 0.6m, 2.0m	3.2	1.2	49.2
3	2m, 0.6m, 0.6m	3.2	2.4	45.2
4	20m, 5m, 0.6m	25.6	3.2	46.4
5	20m, 5m, 4m	29	4.9	45.4
6	4m, 5m, 20m	29	4.1	46.2

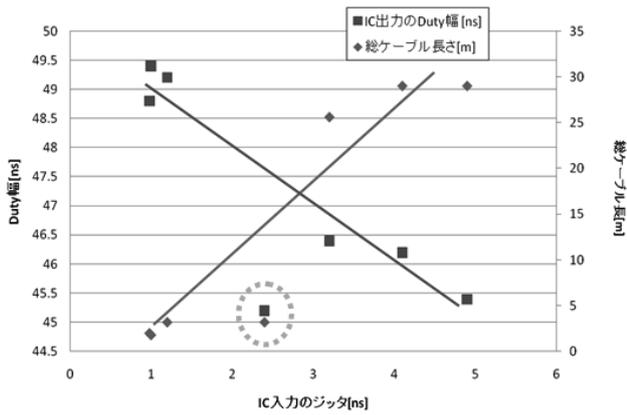


図 8. ジッタ・Duty・総ケーブル長の関係

ジッタ・Duty・総ケーブル長には一定の相関関係があるものの、表1にある測定 No.3 の結果 (図8内の破線丸囲み) が、相関から外れていることが読み取れる。

**3.3 考察** ジッタと Duty 幅及び総ケーブル長の関係において、相関関係は存在するが、測定 No.3 のように例外の存在も明らかとなった。このことからデジチェーン接続の場合、総ケーブル長とジッタの関係から評価するのではなくシミュレーションによって通信限界の予測を行うべきである。

#### 4. 開発指標サンプル基板の EMC 対策

伝送線路シミュレータ (CR-5000 Lightning : 図研) と電源-GND プレーン共振解析シミュレータ (DEMITASNX : NEC 情報システムズ) を使用し、設計指標となるサンプル基板の開発を行った。事前検討した結果、今回のサンプル基板の開発で採用した EMI 対策は以下の三つである。

プレーン共振点にスナバ回路を配置

4層基板の層構成の変更

トップ面の基板端に幅 10mm のガード GND を設置

**4.1 スナバ回路追加** 電源及び GND プレーンにプレーン共振シミュレーションを行い共振の発生箇所を特定し、対策としてスナバ回路を追加した。追加位置を図9に、スナバ回路を図10に示す。

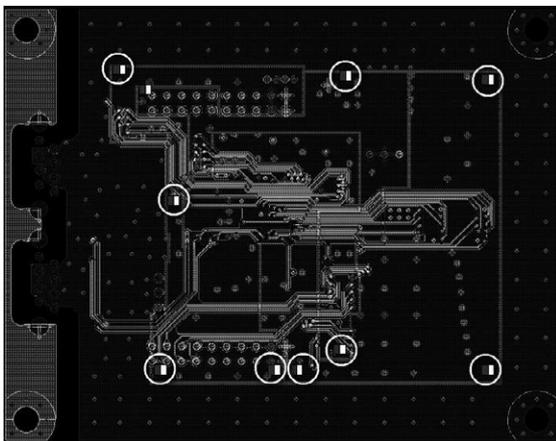


図 9. スナバ追加位置 (白丸囲み)

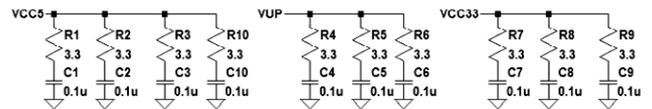


図 10. スナバ回路

**4.2 層構成の変更** 一般的な4層基板の層構成は1層目：信号線及びGND、2層目：GND プレーン：3層目：電源プレーン、4層目：信号線及びGND であるが、GND プレーンで信号線を囲むと EMI が減るので、基板構成を1層目：GND プレーン、2層目：信号線及びGND：3層目：信号層及び電源、4層目：GND プレーンとした「表層 GND 基板」を作製し、一般的な層構成の基板とで EMI の比較を行った。作製したサンプル基板を図11に示す。表層には信号引き出し線がわずかに見えるが、そのほとんどは GND プレーンが占める。

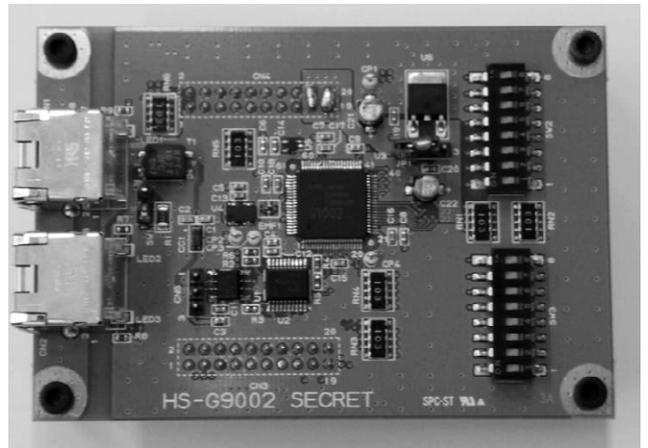


図 11. 表層 GND 基板

**4.3 EMI 測定方法** 多摩テクノプラザ 3m 法電波暗室において測定を行った。測定対象は以下の4つの基板である。

既存基板

開発指標サンプル基板スナバ無し (一般層構成)

開発指標サンプル基板スナバ有り (一般層構成)

開発指標サンプル基板スナバ有り (表層 GND 基板)

パイログアンテナでの測定では給電点が 1GHz と 30MHz で大きく異なり誤差が多くなるため、この測定ではログペリアンテナとパイコニカルアンテナを使用し、計測による測定誤差を極力小さくするようにした。

高さ 80cm の木の机の上に測定対象基板を設置し、30MHz ~1GHz の放射ノイズを 0~360° 回転させて測定する予備測定で比較を行った。今回の基板は水平偏波が多いので水平波のみの測定である。

基板測定状況を図12に、配置状況を図13に示す。

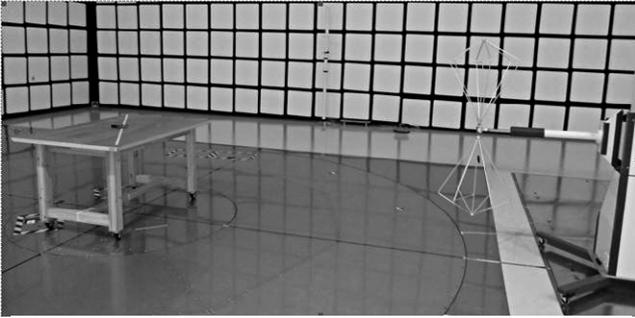


図 12. 3 m 遠方界測定状況

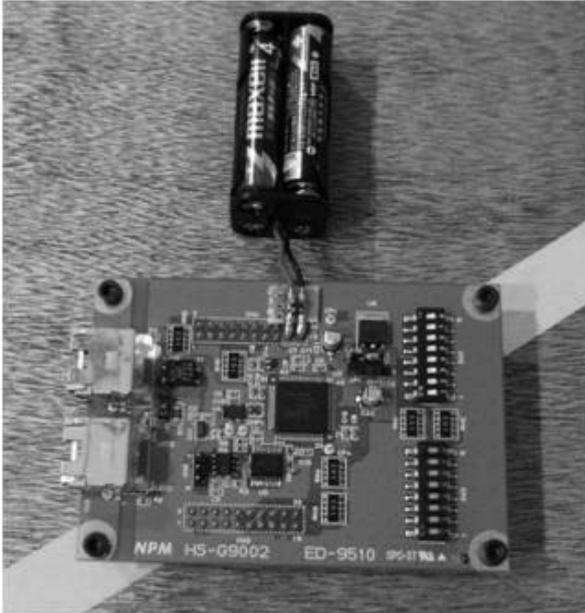


図 13. 基板配置状況

**4.4 EMI 測定結果** 遠方界測定結果の一部を図 14 に示す。既存基板に対してサンプル基板は全帯域で EMI の減少がみられる。特に 500MHz 付近で 20dB 以上も減少している。

サンプル基板のスナバの有無を比較すると、スナバ有りの方が 500MHz 以上で 5~10dB の改善が見られた。

表層 GND 基板においては、他の基板に見られる突出した周波数の数もその突出量も少なく、スナバ有り基板よりも突出量をさらに 10db 程度抑制しており、全周波数全域で最も優れたノイズ抑制効果が得られた。

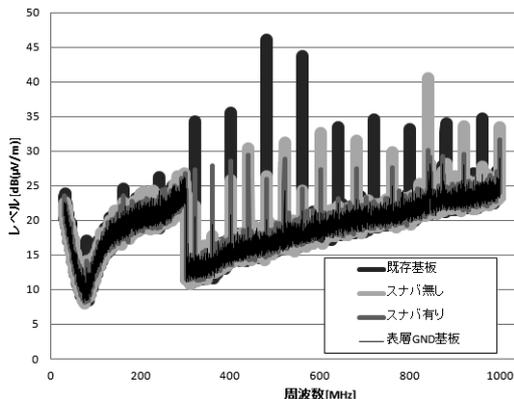


図 14. 遠方界測定結果抜粋

**4.5 考察** 既存基板と比べてサンプル基板の EMI が減少したのは、トップ面の基板端に幅 10mm のガード GND を設けたこと、また、ノイズ源となりうる各信号線の周囲に 0.3mm クリアランスでベタ GND を置いたことの効果である。これらにより GND との電界結合が強くなり、電流ループ面積が小さくなったため EMI が減少したと考えられる。

同じ基板でスナバ回路有りの方がノイズを抑制できていることから、電源-GND 間の共振で発生するエネルギーに対してスナバ回路が有効であることを示している。

表層 GND 基板がスナバ回路よりノイズ抑制効果が高いので、基板開発上、制約がないのであれば表層 GND 基板が EMI 対策としてもっとも効果が得られることとなる。

## 5. まとめ

(1) Motionnet 通信品質の予測 各ユニット及び差動ケーブル長可変のシミュレーションモデルを完成させたことで、シミュレーションによる通信品質の予測が可能となった。レベルにチューニングが必要であるものの、精度の高い通信波形の予測が行えることがわかった。

(2) 通信品質評価方法の確立 一般的な RS-485 通信の評価方法であるケーブル長とジッタの関係で通信限界の予測をデジチェーン接続でも適用できないか試み、ある一定条件下では適用可能であることが判明した。しかし、ユニット間ケーブル長の組合せによっては例外が存在することも判明した。例外発生条件については今後の課題として検討中である。

(3) サンプル基板の EMC 対策 従来の製品基板と比較して、放射ノイズを大幅に減少させたサンプルボードが完成したことも一つの大きな成果であるが、この開発過程で用いた電源プレーンの共振解析、バイパスコンデンサの追加手法、スナバ回路の追加位置特定手法などノウハウが今後の製品開発ガイドラインとして展開可能である。また今回採用した EMI 対策の有無によりその効果の違いを把握できたことも、今後の製品開発を行う上で EMI 対策を検討、選択する際に有益な情報として利用可能である。

(平成 24 年 5 月 18 日受付, 平成 24 年 7 月 30 日再受付)

## 文 献

- (1) Howard Johnson, Martin Graham: 「高速信号ボードの設計基礎編」, 丸善株式会社, pp. 148-149 (2007)
- (2) Howard Johnson, Martin Graham: 「高速信号ボードの設計応用編」, 丸善株式会社, pp. 514-520 (2007)
- (3) MAXIM アプリケーションノート 3884 「RS-485 の長距離化と高速化はどこまで可能か?」, <<http://japan.maxim-ic.com/app-notes/index.mvp/id/3884>> (最終更新日: Jul 18, 2008)