

論文

ノイズ対策を施した産業用コンピュータの開発

佐野 宏靖*¹⁾ 佐藤 研*¹⁾ 高橋 文緒*¹⁾ 山下 俊紀*²⁾ 時川 昌大*²⁾

Development of industrial computer that countermeasure against noise

Hiroyasu Sano*¹⁾, Ken Sato*¹⁾, Fumio Takahashi*¹⁾, Toshinori Yamashita*²⁾, Akihiro Tokikawa*²⁾

In recent years, the demand for speeding up the data transmission is growing because the volume of data communication for electronic products has been increasing every year. With the speeding up of data transmission, the problem of radiation noise is becoming salient. Therefore, it is an important issue to reduce the noise within the regulated value in the standard applied for the products. It is important to take measures to reduce the radiation noise from the design stage because the possibility of protection measures is limited after finishing of the products. In this study, the target of development has been shifted to the products corresponding to a stricter regulation of VCCI/FCC CLASS B from the regulations CLASS A for the industrial computers for high density and high-speed communication designed and marketed by Sanritz Automation Co., Ltd. Through this study, we pursue to expand the scope of adaptation to the product standard and to accumulate practical design rules for EMC countermeasure.

キーワード：放射ノイズ，近傍界測定，リターン電流

Keywords：Radiation noise, Near field measurement, Return current

1. はじめに

近年，電子製品のデータ通信量は年々上昇しており，通信速度の高速化が求められている。通信速度の高速化に伴い，放射ノイズの問題が顕著となるため，製品に適応される規格の規制値内にノイズを抑えることが重要な課題となっている。製品完成後では，可能な放射ノイズ対策に限りがあるため，設計の段階から対策を施すことが重要である。

本研究では，サンリツオートメーション株式会社が設計・販売している高密度実装・高速通信の産業用コンピュータを対象に，VCCI/FCC 規制（放射ノイズ規制）CLASS A から，規制のより厳しい CLASS B に対応した製品開発することを目的とした。本研究により，製品の規格適合範囲の拡大及び実用的な EMC 対策設計ルールの蓄積を目指した。

2. 開発内容

2.1 産業用コンピュータの概要 開発した産業用コンピュータボードを図 1 に示す。製品の概要は以下の通りである。

- ・基本構成 CPU, DDR3 SO-DIMM, HDD, Intel Chipset
- ・基板情報 基板層数：10, 部品数：約 1800, ネット数：約 2000
- ・主な外部通信規格及びケーブル本数 CompactPCI I/F,

USB ポート四つ，ギガビットイーサ二つ，COM ポート二つ，VGA 一つ，PS/2 マウス・キーボード各一つ

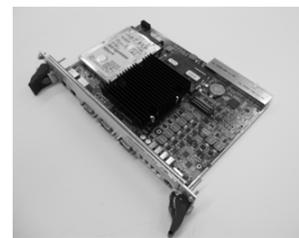


図 1. 開発した産業用コンピュータボード

2.2 開発の流れ 既存製品のノイズ源を特定し，CLASS B に適合させるためのノイズ対策を行う。本研究では以下のような手順で測定及び解析を行い，対策を施した製品を開発した。

- (1) 既存基板測定によるノイズ源及び伝搬経路の特定
 - ・ IC の動作周波数高調波と遠方界測定結果の比較
 - ・ 近傍界測定
 - ・ オシロスコープを用いた FFT 測定
- (2) 既存基板測定結果からノイズ要因を推測
- (3) シミュレータによる対策内容の検討
 - ・ 放射ノイズ設計ルールソフトによるチェック
 - ・ 電磁界シミュレータによる対策効果の検証
- (4) 改版基板を測定し効果の確認
 - ・ 近傍界測定
 - ・ 遠方界測定

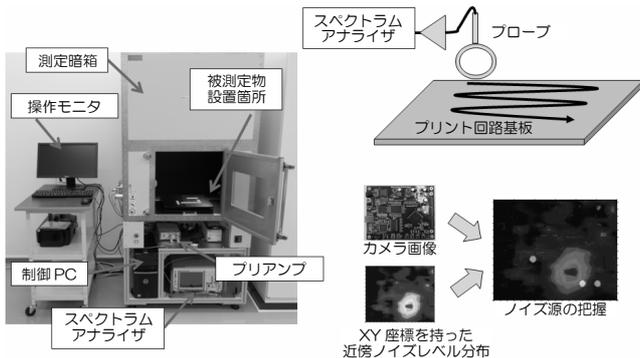
事業名 平成 24 年度 共同研究

*¹⁾ 電子・機械グループ

*²⁾ サンリツオートメーション株式会社

3. 測定方法

3.1 近傍界測定 近傍界測定では、磁界用プローブ（NEC エンジニアリング製，MP-10L）で被測定基板を走査し、スペクトラムアナライザで各位置におけるノイズレベルを測定する。XY 座標をもった近傍ノイズレベル分布画像とカメラ画像を重ね合わせることで、どの IC がノイズ源であるか、どのように伝搬しているかを把握する。近傍界測定装置（FDK 製，NES-300）外観及び測定概要を図 2 に示す。本測定では、プローブの走査を 5mm ステップで、基板及び実装部品からプローブまでの距離が一定（0.1mm）となるようにする。



(左) 装置外観 (右上) 測定概要 (右下) 測定結果
図 2. 近傍界測定

3.2 オシロスコープを用いた FFT 測定 この測定では、オシロスコープ（Agilent 製，DSAX92804A）を用いて、CH1（ノイズ源）と CH2（ノイズ伝搬先）の同期を測定し、FFT 測定により CH1 と CH2 が同様のスペクトラムであることを確認することで、ケーブルに伝搬するノイズのノイズ源を特定する。測定プローブには、被測定物のインピーダンスを乱さず測定できる、差動のハイインピーダンスプローブ（Agilent 製，N2751A）を使用する。

3.3 遠方界測定 多摩テクノプラザ 3m 法電波暗室で放射エミッション試験を行う。測定方法を図 3 に示す。

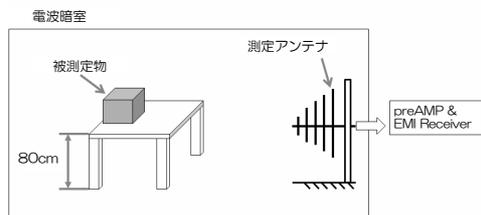


図 3. 遠方界の測定（放射エミッション試験）

放射エミッション試験は 5 面電波暗室を用いて、被測定物から 3m 遠方にパイログアンテナを置く。測定帯域は 30MHz～1,000MHz である。アンテナ高さは 1m～2.5m に 0.5m 刻みで上下させながら被測定物をターンテーブル上で 360° 回転させ、水平偏波及び垂直偏波の最大電界強度を観測する。電源は 3 極の電源ケーブル経由で床面から AC100V を供給し、筐体 FG を接地させる。LAN ケーブルの対向器として HUB 経由でノート PC を接続し通信させる。被測定物設置状況を図 4 に示す。

放射エミッション試験では、実使用で発生する最大ノイズ条件で試験を行う。消費電流が増えるとノイズも増えるため、最大負荷状態で試験を行う。そのため、被測定物にインストールした PC に負荷を与えるソフト（WST 1.5 ウルトラエックス製）を使用して、計算量を増やす（CPU，FPU，MMX，2D グラフィックス，3D グラフィックス，シリアルポート，メモリ，ハードディスクの負荷率 90%）。また、USB の CF カードには常にアクセスするよう、ファイル書き込みを常時行う。

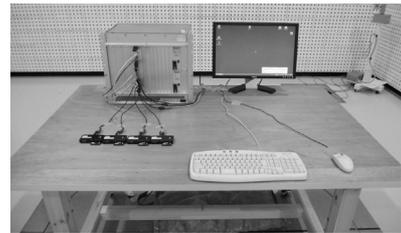


図 4. 被測定物設置状況（アンテナ正面側）

4. 結果と考察

4.1 既存基板の測定

(1) IC のクロック周波数の高調波と遠方界測定結果の比較 製品基板上にある各 IC のクロック周波数の高調波と放射ノイズレベルが大きい周波数を照らし合わせる。一致した場合、その IC による高調波ノイズの可能性が高い。IC のクロック周波数の高調波と遠方界測定結果を図 5 に示す。既存基板は 300MHz 以上のノイズが顕著であった。図 5 より、ピークがでている 933MHz については IC1 と IC3 の高調波であると推測できる。

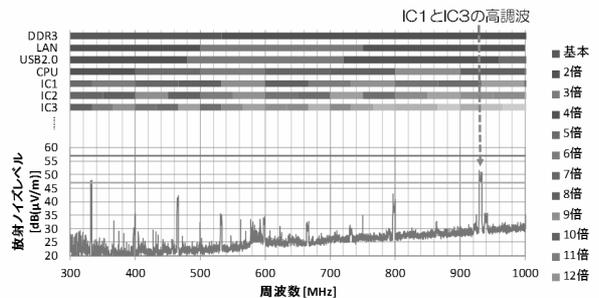


図 5. IC のクロック周波数の高調波と遠方界測定結果

(2) 近傍界測定 933MHz の近傍界磁界測定結果を図 6 に示す。図 6 より、筐体内接続コネクタ付近で大きなノイズが発生していることが確認できる。また、ノイズが基板全体に広がっているようにみえる。

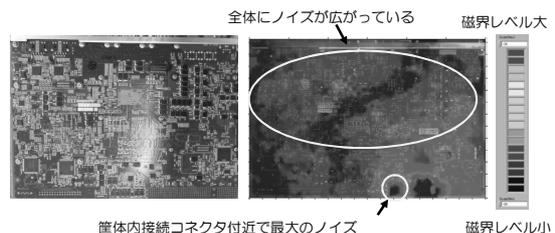


図 6. 近傍磁界測定結果（933MHz）

(3) オシロスコープを用いた FFT 測定 遠方界測定により，LAN ケーブルのノイズが確認できていたため，ノイズ源と推定される IC3 を CH1 に接続し，LAN ケーブルに伝搬するノイズを CH2 に接続し，オシロスコープで測定した。IC3 のクロック信号測定結果を図7に示す。図7より，CH1 と CH2 が同期していることが分かり，933MHz のスペクトラムも観測された。このことから，ノイズ源は IC3 のクロック信号であることを特定した。

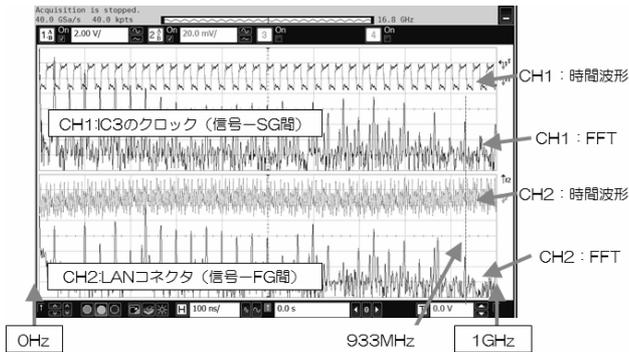


図7. オシロスコープによる FFT 測定

4.2 ノイズ要因の推測 上記測定結果より，ノイズが大きい IC3 と接続している配線を CAD 上で確認した。その結果，配線状況から引き起こされる主要なノイズ要因は以下の2点であると推測した。ノイズ発生メカニズムについて以下に記す。

(1) リターンパス分断 リターンパス分断とは，信号線の電流パスと GND (リターン線) の電流パスが離れている状態をいう⁽¹⁾。信号線と GND が近ければ，外部に漏れ出る電磁界成分が相殺されるが，これが離れている場合，相殺される電磁界成分が少なくなり，外部に漏れてしまう。これが大きなノイズとなり，基板やケーブルをアンテナとして放射ノイズが遠方界にみえる。

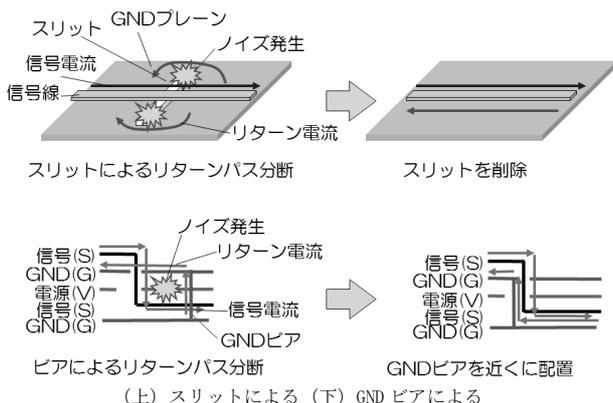


図8. リターンパス分断ノイズ発生メカニズム

特に電源プレーン，グランドプレーンを貫通する信号線ビアのリターン経路確保が見逃しがちである。信号線ビア近くに GND ビアを置かないと前述の理由でノイズが大きくなる。そのため，図8のように GND ビアを配置しているか設計段階で対策を施す必要がある。

(2) 筐体内接続コネクタの GND 構造の不連続 筐体内

接続コネクタのグランド構造が変化することでコモンモードノイズが発生し，放射ノイズに大きな影響を及ぼす⁽²⁾。一般的に，基板から発生する放射ノイズは，金属筐体に囲まれているとシールド効果により放射ノイズレベルは少なくなる。しかし，ケーブルが基板に接続されている場合，筐体内接続コネクタから発生したノイズが，基板もしくは筐体を經由してケーブルに伝搬し，筐体外に放出することもある (図9)。

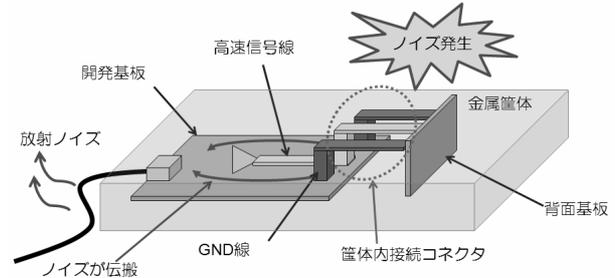


図9. 基板対基板接続コネクタのGND構造の不連続によるノイズ発生メカニズム

4.3 主な対策内容

(1) リターンパス分断の解消 放射ノイズ設計ルールソフト (NEC 情報システムズ製，DEMITASNX) を用いて，リターンパス分断が発生している部分についてチェックを行い，解消した。

高速信号線のリターン電流パスを確保を容易にするため，層構成を変更 (2層目，9層目にベタ GND をおく) した。本基板は高密度基板であり，GND 面積が十分にとれないところもある。そのため，GND プレーンだけではなく，電源プレーンもリターン電流パスとして利用した。電源プレーン上のリターン電流パスを確保するため，バスコンを配置，電源プレーンのスリットの削除を行った。対策前後の配線を図10に示す。チェックエラーが多い場所を色で確認できる。他の箇所にも同様の対策を施し，50MHz 以上の信号線リターンパス分断チェック項目においては，チェックエラーを0個とした。

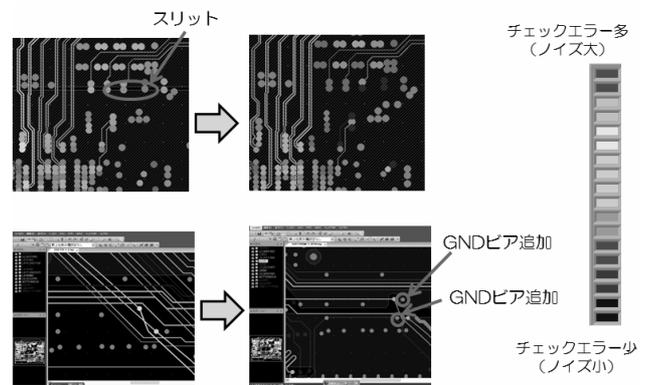


図10. 放射ノイズ設計ルールソフトによるチェック結果の比較

ただし，50MHz 未満の信号は，基板面積の都合で改善できないところもあったが，経験上懸念される箇所のみ対策を施し，その他のチェックエラーは許容した。

(2) 筐体内接続コネクタの GND 強化 ノイズ対策の基本である発生源からのノイズを小さくするため、コモンモードノイズの発生源であるコネクタのGNDを強化する方法を行った。IEC61076-4-101 準拠の CompactPCI コネクタには、GND ピン以外に面形状の GND シャーシがある。このシャーシはコネクタの上面にしかないので、下面にも追加することとした。このことにより、高速信号線ピンに対する GND 構造を強化できた。

この GND 構造を強化する対策について、リターン電流のふるまいがどのように変化するか確認するため、簡易的な基板において、筐体内接続コネクタの GND 構造を 3 パターンに変化させた時の表面電流分布解析 (CST 製、電磁界シミュレータ: MW STUDIO) を行った。図 13 に 933MHz の表面電流解析結果を示す。TYPE1 は GND ピン一つ、TYPE2 は GND ピンを信号線ピンの両脇に二つ、TYPE3 は GND ピンを信号線ピンの両脇に二つおき GND 面で囲ったものである。信号発生基板 (2 層) と背面基板 (1 層) を接続するコネクタは、高さ 10mm のピンヘッダを想定している。なお、背面基板には 65 Ω の終端抵抗が実装されている。

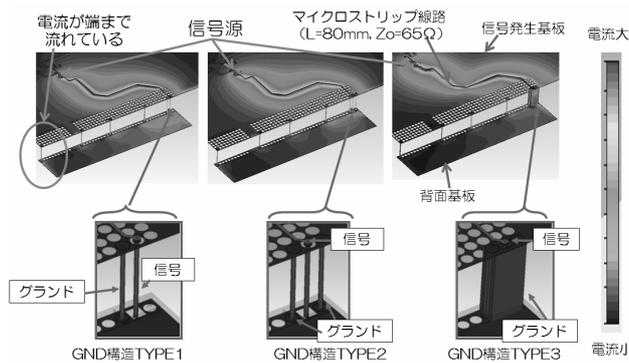


図 11. 表面電流分布解析の比較 (933MHz)

図 11 より、TYPE1 の方が背面基板の端まで電流が流れていることが分かる。これは、TYPE1 のコネクタのグラウンド側インピーダンスがグラウンドピン部分で高くなるため、他の低いインピーダンス部分を経由すると考えられる。TYPE3 は十分にグラウンド側のインピーダンスが低いため、背面基板の左側には電流が流れていない。この結果より、電流の広がりが抑えられ、ノイズが基板端面に伝搬しにくくなっていると考えられる。

4.4 改版基板の測定

(1) 近傍界測定 リターンパス分断を極力抑えた改版基板に、コネクタの GND 構造を強化した効果を確認するため、近傍磁界測定を行った。背面基板は他の基板との通信と電源を供給する基板であるので、背面基板をはずすと開発基板は動作しない。そのため、信号発生器 (S.G) から信号波形 (33MHz のクロック) を信号線に接続した。その時、966MHz の近傍磁界測定結果を図 12 に示す。S.G の発生するクロック波形は歪みが少なく、近傍磁界の測定では 33MHz の偶数次高調波は発生しなかったため、奇数次高調波の 966MHz で観測した。図 12 より、コネクタの GND 構

造を強化する対策によりノイズの伝搬が抑えられていることが確認できた。

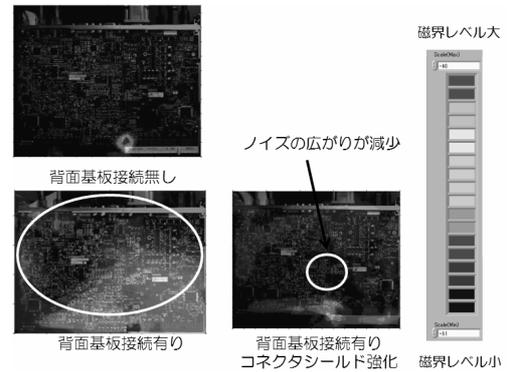


図 12. 基板 Bottom 側の近傍界測定結果 (966MHz)

(2) 遠方界測定 改版基板において、筐体内接続コネクタの GND 構造を強化した時の対策効果を図 13 に示す。この結果より、VCCI CLASS B の規制値より 6dB 以上のマージンがあることが分かる。

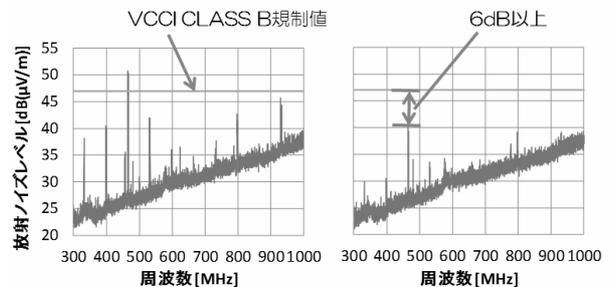


図 13. 遠方界 (3m 電波暗室) の測定結果

5. まとめ

遠方界測定結果から問題となる周波数を確認し、近傍界測定及び FFT 測定により、ノイズ源を実測データに基づき特定した。その後、放射ノイズ設計ルールソフトや電磁界シミュレータを用いてノイズ抑制効果を確認した。これらの結果を設計に反映させ、今回の開発した実機の測定でもノイズ抑制効果があることを確認した。

本研究の結果、VCCI CLASS B の規制値より、マージンを持った製品開発することができた。

製品は平成 25 年 10 月より販売している。また、CLASS B へと規格適合範囲が広がったことで、より広い分野へ販路を拡大することが可能となった。本研究結果は、社内及び都産技研の EMC 設計対策ルールとして蓄積することができた。

(平成 26 年 7 月 7 日受付, 平成 26 年 8 月 11 日再受付)

文 献

- (1) 原田高志:「プリント回路板の EMI 発生メカニズムとモデリング (EMC 基礎講座第 17 回)」, エレクトロニクス実装学会誌, Vol.6, No.7, pp.610-615 (2003)
- (2) 貞利章文, 酒井陽平, 渡辺哲史, 豊田啓孝, 五百旗頭 健吾, 古賀隆, 和田修己:「コモンモードアンテナモデルによるコネクタ接続されたプリント回路基板からの放射電磁波予測」, 信学技報 EMCJ2007-9, pp.49-54 (2007)