

自動車内データ通信システムの信頼性評価

Evaluation of Reliability In on-board Data Communication System

佐古 和也⁽¹⁾ 伊藤 辰男⁽²⁾
Kazuya Sako Tatsuo Ito

要 旨

ニューメディア時代の幕開けに伴い、カーエレクトロニクス機器もデータ通信機能を有するインテリジェント機器へと変貌しつつある。¹⁾

自動車内に、このようなデータ通信システムを導入する場合には温湿度、機械振動・衝撃等の厳しい環境条件がシステム全体に、どの様に影響するかを十分に把握しておく必要がある。

特に、システムの中核であるデータ通信に関しては、車両内に発生する様々な電氣的ノイズの影響の把握と、データ誤り発生の防止が重要な課題になっている。

本稿は、自動車内の中低速デジタル通信に用いられるカレントループの信頼性に関し、統計的手法を用い解析を行った一事例として、品質管理学会誌1987年5月臨時増刊号「名古屋品質管理大会報文集」に掲載し、同大会で発表した報告文を加筆訂正したものである。

With the advent of the new media age, the automotive electronics equipment is also changing to intelligent equipment having data communication function.

When such a data communication system is introduced into an automobile it is necessary to well understand how the temperature/humidity, mechanical shocks, impulses and other severe environmental conditions affect the entire system.

As to data communication which forms the core of system in particular, grasping the effect of various electrical noises generated inside the automobile and preventing the data errors are becoming very important.

This paper described an analysis using a statistical technique as to reliability of current-loop used for medium-and low-speed digital communication on-board which is retouched and corrected the report in Quality Control Society Journal 1987-May special Issue "Nagoya QUALITY CONTROL REPORT".

(1), (2) 第一開発部

1. はじめに

“信頼性”には、システム寿命（故障）問題と与えられたデータそのものが“信用できるものか否か”といったデータの信用度に関する問題との二つの捉え方がある。

後者の場合、例えば、データ誤りによりシステムが機能低下や誤動作した場合も信頼性が低下したことになる。

このような信頼性低下は、システムユーザに対して不満をもたらすだけでなく、重大問題につながる事も予測される。

従って、データ通信機能を有するインテリジェント機器における通信ネットワークの信頼性確保は、リスク低減のために必要不可欠なものである。

今回は自動車内の中低速デジタル通信に用いられるカレントループに関し、L_s実験計画法や多元配置等の統計的手法を用いて、ハードウェアの最適化と、信頼性評価を行い、これらの手法の適用に関する一つの指標を得たので、その内容を報告する。

2. 実験のねらい

データ通信の信頼性確保のためには、データ誤りの低減（理想的には=0）が必要である。

ここでは、データの誤り発生数の正確な把握と誤り発生メカニズムの解析および、ハードウェアの最適化のための指標を得るため実験を行った。

3. 現状の把握

データ誤り低減のためには、まず、自動車内に発生する様々なノイズを調査する必要がある。

しかし、自動車内で発生する電氣的ノイズは、従来の測定方法による定量的な把握が困難である。

また、これに起因する非常に頻度の少ない（数

万回以上のデータ転送で一度発生するか否かといったような）データの誤りを捕らえ、実験の再現性を得ながら短時間で評価・解析を行っていく適切な方法はない。

更に、通信ハードウェア最適化のための明確な設計基準もないのが現状である。

4. 目 標

本テーマを進めるに当たり、以下のような複数の目標を設定した。

- 1) 通信ハードウェアの最適化によるデータ誤り発生数の低減
 - a) 誤り発生数の測定に適した実験方法の確立
 - b) 最適回路定数を実験により決定する。
- 2) 実車両における誤り発生率の推定と評価
 - a) 誤り発生メカニズムの解析と誤り発生数推定式の導出
 - b) 実車両におけるノイズ波形を調査し、誤り発生数の算出と評価を行う。

5. 実 験

今回の検討対象は、前述したようにカレントループを用いた送受ユニットである。

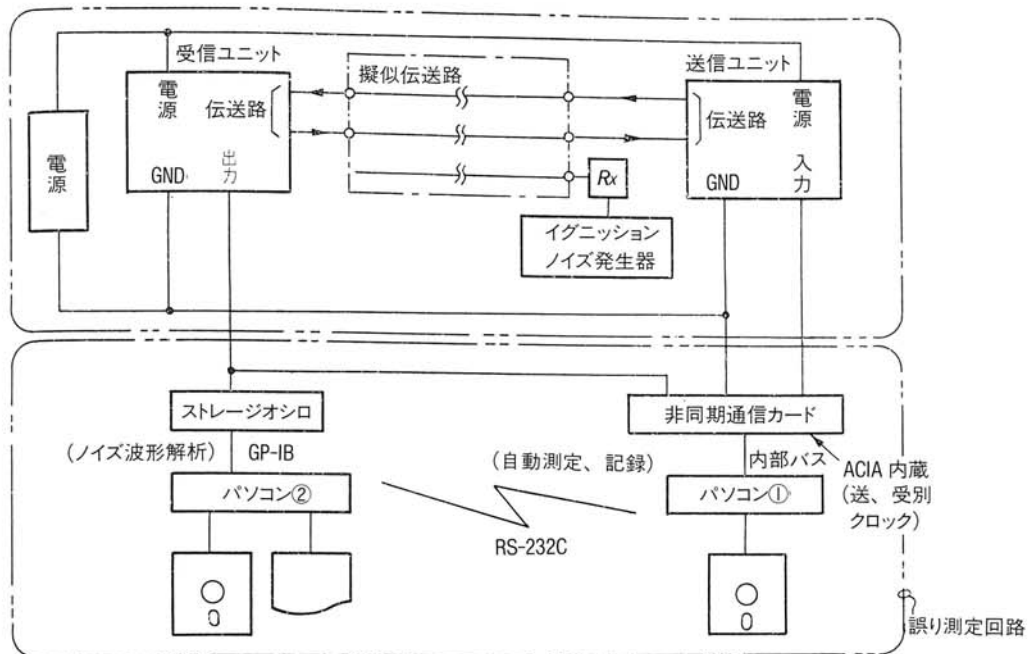
同ユニットの最適回路定数を決定するために図-1(a)に示す回路を用いた。

ここでは、一般的なノイズ源の中で最も影響力の強いイグニッション・ノイズ発生器を用いている。

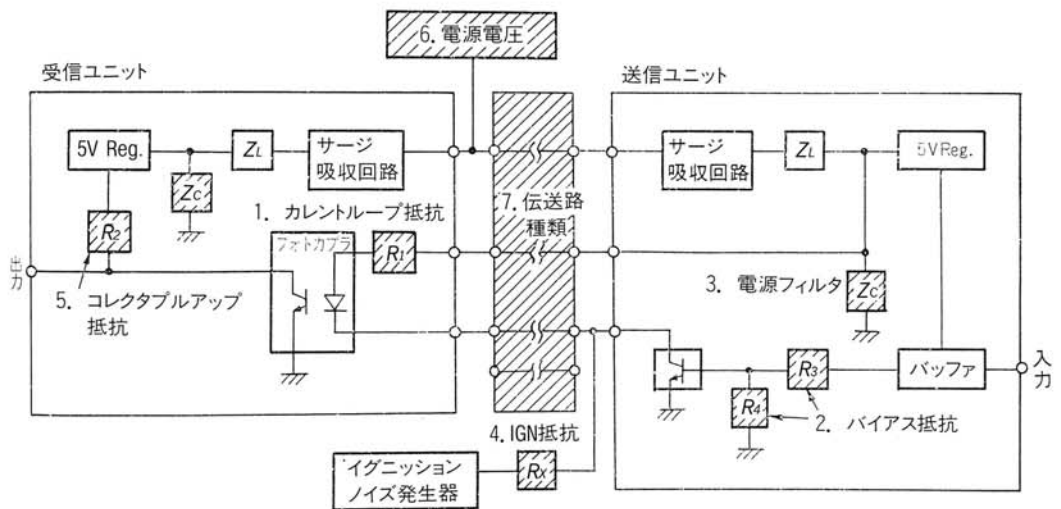
具体的な測定方法は、イグニッション・ノイズ発生器で、一定周期のノイズパルスが発生し、これを擬似伝送路に印加する。

次に、パソコン内で1,024個のランダムパターンを準備し、非同期通信カードを用いてデータを送受し、誤り発生数をカウントし、一定時間ごとに複数回連続記録するという方法をとった。

- 1) 因子と水準



(a) 測定回路



(b) 制御できる因子 (斜線部)

図-1 実験計画

Fig. 1 Design of experiment.

送受ユニットにおいて制御可能な因子を図-1(b)に示す。

同図の各因子を影響の有無で分類し、次に効果の不明な因子に関して、その影響を調べるため $L_8(2^7)$ に割り付け、予備実験を実施した。

結果を表-1(a)に示す。

最終的には、 A : カレントループ抵抗、 B : プルアップ抵抗、 C : 電源電圧の3つの因子を選び、定数決定のための実験を行うこととした。

2) 割付けと実験結果

表-1

因 子	影響の有 無(推定)	予備実験で 有意となっ た因子	本実験の対象と水準				備 考
			対 象	第 1 水準	第 2 水準	第 3 水準	
1. カレントループ抵抗	◎	◎	○	A ₁	A ₂	A ₃	: A
2. バイアス抵抗	?	×	—	—	—	—	
3. 電源フィルタ	?	×	—	—	—	—	
4. IGN 抵抗	◎	◎	—	—	—	—	実験では0とする
5. コレクタブルアップ抵抗	◎	—	○	B ₁	B ₂	B ₃	: B
6. 電源電圧	◎	—	○	C ₁	C ₂	—	: C
7. 伝送路種類	◎	—	—	—	—	—	

(a) 因子と水準

		B ₁				B ₂				B ₃			
		R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
A ₁	C ₁	15960	17099	15422	17409	3966	3721	3619	3489	3960	3637	3780	3336
A ₁	C ₂	17425	14175	9140	5233	1252	1386	1192	1316	1160	1221	1254	1164
A ₂	C ₁	18583	17579	17576	14584	5044	4768	4598	4661	3976	4183	3835	4296
A ₂	C ₂	18387	17970	18759	18345	2865	2794	2772	2525	2758	2092	1886	1697
A ₃	C ₁	14588	19932	20051	12469	5423	5225	5220	4555	4304	4856	4898	4780
A ₃	C ₂	18850	14127	8674	21087	3465	3228	2788	3297	3170	2593	2675	2796

(b) 割付けと誤り数測定結果

因 子	S	φ	V	F ₀	
カレントループ抵抗 A	5.2758E+07	2	2.6379E+07	5.7828E+00**	(4.96)
コレクタ抵抗 B	2.5803E+09	2	1.2902E+09	2.8283E+02**	(4.96)
電 源 電 圧 C	6.7792E+07	1	6.7792E+07	1.4861E+01**	(7.05)
測 定 時 間 R	1.3567E+07	3	4.5224E+06	9.9140E-01	(2.75)
誤 差 e	2.8738E+08	63	4.5616E+06		
	3.0018E+09	71			

(c) 分散分析表—A×B~B×R, A×B×C~B×C×Rを誤差としてプールした場合

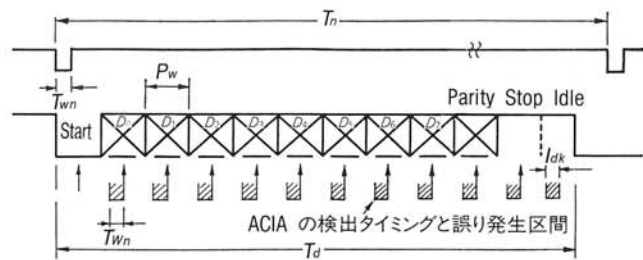
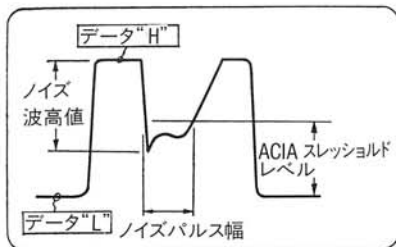
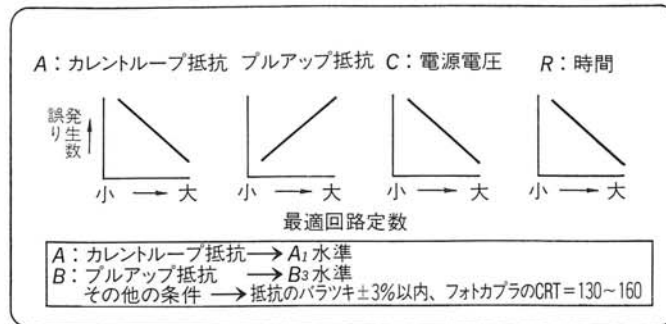
	水準 [1]	水準 [2]	水準 [3]	水準 [4]
因 子 (A)	-1208	676	531	
因 子 (B)	8464	-4047	-4416	
因 子 (C)	970	- 970		
因 子 (R)	551	298	- 394	-455

(d) 主効果表

C=1	B ₁				B ₂				B ₃			
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
A ₁	16289	16037	15345	15284	3779	3526	2834	2773	3409*	3157*	2465*	2404*
A ₂	18173	17921	17229	17163	5663	5410	4718	4657	5293	5041	4349	4288
A ₃	18028	17775	17084	17023	5518	5265	4573	4512	5148	4896	4204	4143

C=2	B ₁				B ₂				B ₃			
	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
A ₁	14349	14096	13404	13343	1838	1585	894	833	1469*	1216*	524*	463*
A ₂	16233	15980	15288	15227	3722	3469	2778	2717	3353	3100	2409	2347
A ₃	16088	15835	15143	15082	3577	3324	2633	2572	3208	2955	2263	2202

(e) C₁, C₂ 水準における各因子組合せの点推定値



ノイズ周期 T_n (mS)	ノイズ パルス幅 T_{wn} (uS)	実測エラー数 (シミュレーション値) E_{nr} (E_{nt})	誤差(%)
30.540000	30.00	1132 (1409)	24.51
10.020000	30.00	5894 (4296)	-27.12
3.060000	30.00	12898 (14066)	9.06
0.961800	30.00	40657 (44753)	10.07
30.548000	10.00	457 (470)	2.77
10.230000	10.00	1777 (1403)	-20.54
3.060000	10.00	4693 (4689)	-0.09
0.961400	10.00	12927 (14924)	15.45
30.520000	5.00	258 (235)	-8.89
10.020000	5.00	819 (716)	-12.58
3.051000	5.00	2500 (2351)	-5.95
0.961800	5.00	8359 (7459)	-10.77
30.570000	3.00	156 (141)	-9.74
10.020000	3.00	458 (430)	-6.21
3.060000	3.00	1832 (1407)	-23.94
0.961800	3.00	4952 (4475)	-9.64
30.450000	1.00	46 (47)	2.43
9.984000	1.00	115 (144)	24.96
3.049000	1.00	501 (471)	-6.07
0.958590	1.00	1774 (1497)	-15.63

(d) シミュレーション結果の3次元グラフ
(ノイズ周期、ノイズパルス幅を変化した場合の計算値と実測値)

Fig. 2 Results of experiment.

前項で選択した因子に時間因子（4時間分）を加えて四元配置法を用いて割り付けし、実験を行った。

割付けと実験結果（1時間当たりの誤り発生数測定結果）を表-1(b)に示す。

6. 実験結果の解析

1) 分散分析

表-1(b)の測定値を用いて分散分析を行った結果を表-1(c)に示す。

因子 A 、 B 、 C がともに有意となったが、これは因子選択時の推定や予備実験結果とも一致している。

2) 主効果と最適組合せ

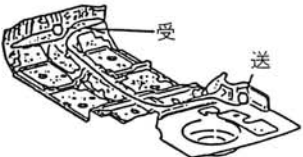
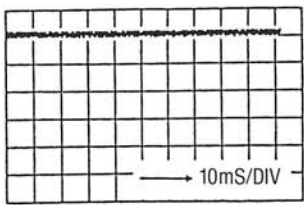
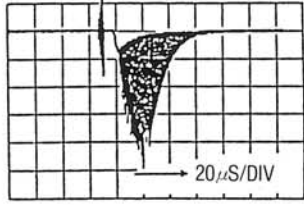
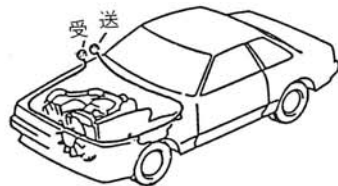
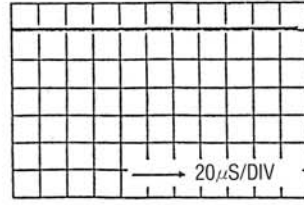
次に主効果と C_1 、 C_2 各水準における各因子の組合せの点推定値を表-1(d)、(e)に示す。

同表からも明らかのように、 A_1B_3 の組合せで誤り発生数が最も少なくなっていることがわかる。

3) 考察

以上の実験結果から、各因子と水準の間には図-2(a)のような関係が存在することがわかった。この関係より、以下のようなことが明らかになった。

- a) カレントループがオフ時に流れるノイズ電流はループ抵抗が小さいほど大きくなる。
- b) カレントループがオフ時は、伝送路のインピーダンスは低くノイズは誘起しにくい（ル

配線名	配線状況	波形測定結果	パルス幅/ 誤り発生数
車室内			$T_{wn}=0$ $E_{rr}=0$
エンジン ルーム タイプ I			$T_{wn}=18.18\mu S$ $E_{rr}=10,952$
エンジン ルーム タイプ II			$T_{wn}=0$ $E_{rr}=0$

* 各図の縦軸はすべてV(1V/DIV)

図-3 ノイズ波形観測結果

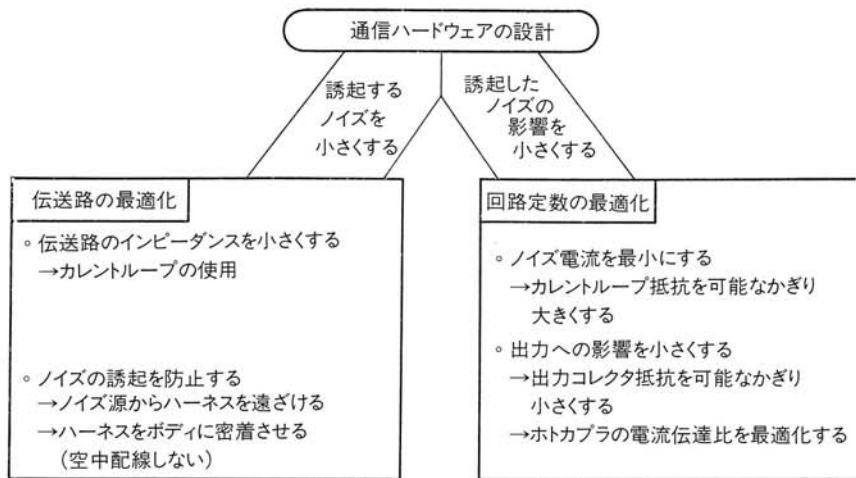
Fig. 3 Noise measurement.

ープ・オフ時が問題である)。
 c) コレクタブルアップ抵抗値の小さいほうが、カレントループに誘起したノイズの影響を小さくできる。
 特に(b)に関しては、⁸⁾カレントループ抵抗は小さ

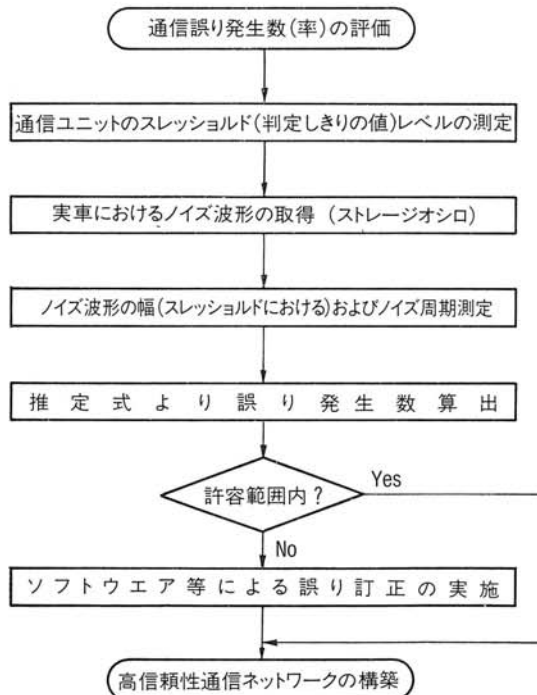
いほうがよい⁹⁾ という回路通電時のみを考えた、これまでの漠然としたイメージを打破し、OFF時の影響も配慮した興味深い結果が得られた。

4) 誤り発生メカニズムの解析

考察結果をふまえ、誤り発生数に影響するのが



(a) 通信ハードウェアの設計手法



(b) 通信誤り発生数評価手法

図-4 設計手法と評価手法の構築

Fig. 4 Construction of design method and appreciation method.

図-2(b)に示すノイズ波形のどの部分なのかを調査した結果、パルス幅と周期であることが明らかになった。

さらに、非周期通信カードに使用している通信アダプタ(ACIA)の動作原理から幅 T_{wn} のノイズパルスが入力データに重畳した場合、図-2(c)のような誤り発生区間が生じるものと仮定し、誤り発生数の推定式を導出すると

$$Err = \frac{9 \times T_{wn} \times DUTY + T_{wn}}{T_d} \times \frac{\text{測定時間}(S)}{T_n}$$

となる。

ここで $DUTY$ は伝送路がハイレベルとなる箇所の比率(通常0.5)である。

また、図-2(c)の I_{dk} は別の検討で十分に小さいことが確認できたのでここでは省略した。

上式による演算結果を図-2(d)に示す。

誤差も少なく符号のかたよりもないので、この式を実際の推定に用いることにした。

7. 効果の確認

最適回路定数を用いたユニットが実際の車両内において、どの程度の実力を持っているかを調査するため、実車両におけるノイズレベルの測定を行い、推定式を用いて誤り発生数の算出を行った。

結果を図-3に示す。

同図からも明らかなように、エンジンルーム内タイプIの布線のみ10,952個/1H (6.338×10^{-4} BER)以下の誤り発生が予測されるが、この場

合のハーネス布設状況は実際には考えられないほど厳しいもので、一般的なハーネスにおける誤り発生数は皆無であると推定される。

8. 成 果

誤り発生数およびノイズ波形の自動測定分析手法を確立し、通信ハードウェアの最適回路定数を決定した。

また、測定結果の分析により通信誤り発生メカニズムを解明し、誤り発生数の推定式の導出および、実車両におけるノイズレベルの測定値から誤り発生数の算出も行った。

さらに、これら一連の検討から、通信ハードウェアの設計手法および通信誤り評価手法が確立できた(図-4(a), (b)参照)。

9. ま と め

今回得られた成果は、単にカレントループを用いた通信システムにかぎらず、しきい値判定を行うすべてのシステムに対して有効であり、適応範囲の拡大が期待できる。

今後は、イグニッション・ノイズ以外の特異なノイズ(たとえば強電界ノイズ)等に関しても、その影響を検討していく必要がある。

参 考 文 献

- 1) M. Tusunoda (1986): "Navigation System for Passenger Cars", SAE 861056.