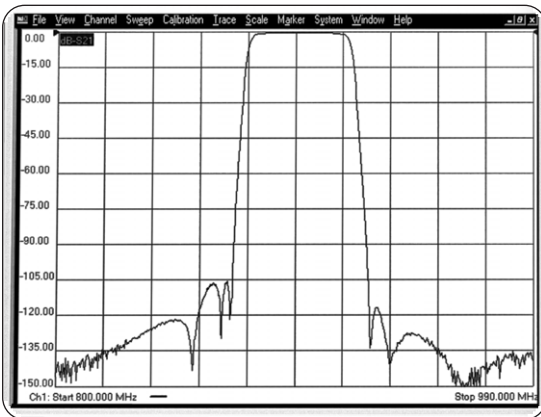
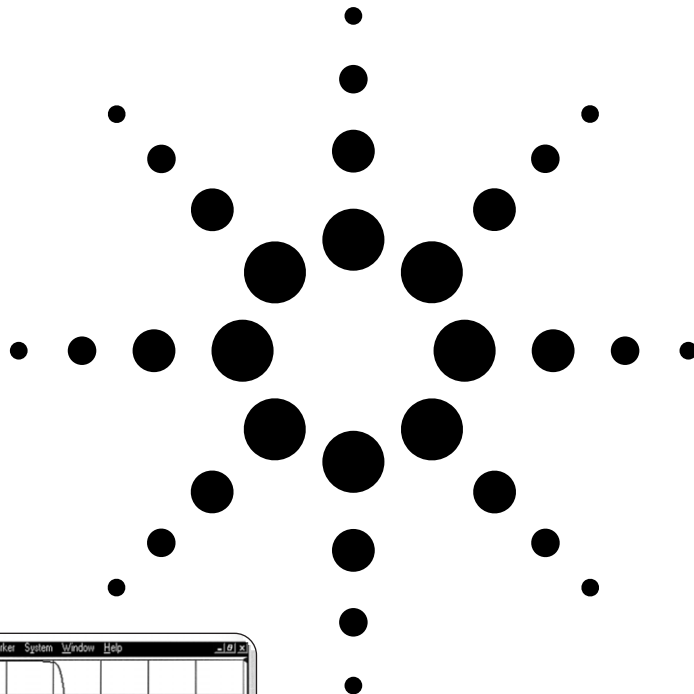


Agilent

ネットワーク・アナライザの ダイナミック・レンジの 意義と改善

アプリケーション・ノート1363-1



ご注意

2002年6月13日より、製品のオプション構成が変更されています。
カタログの記載と異なりますので、ご発注の前にご確認をお願いします。



Agilent Technologies

Innovating the HP Way

概要

各種マイクロ波デバイスを評価する場合、ネットワーク・アナライザのダイナミック・レンジをできる限り大きくすることは、非常に重要で、測定性能を判断する際に基本的なファクタになることがあります。ネットワーク測定システムのダイナミック・レンジを最大にするためには、ダイナミック・レンジの本質とダイナミック・レンジを拡大するために利用できる方法を理解しておくことが大切です。設計者は、こうしたことを理解していると、測定速度などの他の機器パラメータへの影響が最も少ない方法を選択して最良の結果を得ることができます。

ネットワーク・アナライザのダイナミック・レンジは、基本的にシステムが測定可能なパワーの範囲で、特に以下のパワーの範囲を表します。

- P_{max} ：測定中に許容値を超えるエラーが発生しない状態でシステムが測定できる最大入力レベルで、通常、ネットワーク・アナライザ・レシーバの圧縮仕様で決まります。
- P_{ref} ：テスト・ポートでネットワーク・アナライザの信号源から得られる公称パワーです。
- P_{min} ：システムが測定できる最小入力レベル（システムの感度）で、レシーバのノイズ・フロアで決まります。 P_{min} はIF帯域幅、アベレーシング、テスト・セットの構成に依存します。

ダイナミック・レンジには、次の2つの一般的な定義があります。

- レシーバ・ダイナミック・レンジ = $P_{max} - P_{min}$
- システム・ダイナミック・レンジ = $P_{ref} - P_{min}$

実現可能なダイナミック・レンジは、図1に示すように測定アプリケーションにより異なります。

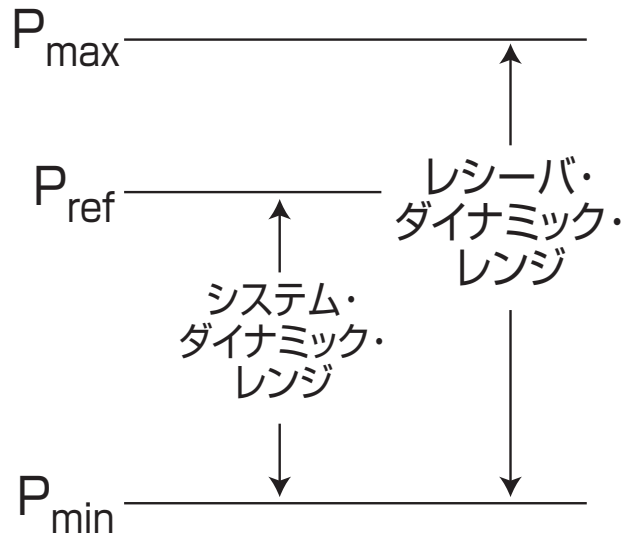


図1

- システム・ダイナミック・レンジ：アッテネータやフィルタなどの受動素子を測定する場合のように、増幅なしで実現可能なダイナミック・レンジです。
- レシーバ・ダイナミック・レンジ：システムをレシーバとみなした場合のシステムの真のダイナミック・レンジです。レシーバのフル・ダイナミック・レンジを実現するために、増幅器が必要なこともあります。増幅器は、被試験デバイスの場合もあり、測定システム外部に接続された増幅器の場合もあります。

ノイズ・フロアの定義

レシーバのノイズ・フロアは、ネットワーク・アナライザの重要な仕様で、ダイナミック・レンジの決定に利用できます。ただ、「ノイズ・フロア」は、明確に定義された用語でなく、長年にわたり複数の定義が存在しています。

ノイズ・フロアの一般的な定義を比較した実験データを図2に示します。この実験では、 -100dBm の雑音パワーのガウス・ランダム・ノイズをシミュレートし、次の4つの定義を用いてノイズ・フロアを算出しています。

- 実線は、ノイズの実効値を示し、雑音パワーは -100dBm です。
- 破線 (-101dBm) は、ノイズのリニア振幅の平均値を dBm に変換した値です。
- 点線 (-102.4dBm) は、ノイズのログ振幅の平均値です。
- 鎖線 (-92.8dBm) は、ノイズのリニア振幅の平均値の和で、リニア振幅の標準偏差の3倍の値を dBm に変換した値です。

当社の新しいPNAシリーズ・ベクトル・ネットワーク・アナライザでは、実効値を用いてレシーバのノイズ・フロアを定義しています。これは、一般に用いられる定義で、レシーバの等価入力雑音パワーなので容易に理解できます。

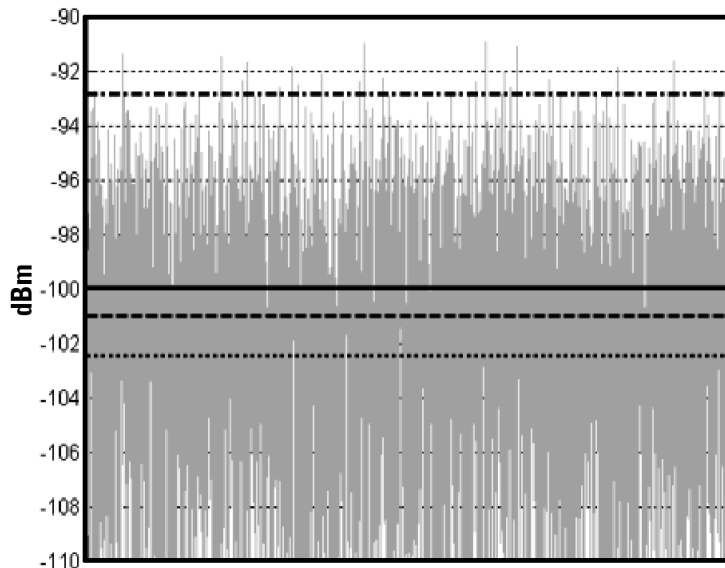


図2 ノイズ・フロアの各種定義

ダイナミック・レンジの改善

測定の状況によっては、ネットワーク・アナライザのダイナミック・レンジを、デフォルト設定を用いて得られる値よりも大きくすることが望ましい場合があります。ノイズ・フロアは、測定器が測定可能な最小出力レベルを定めて、測定器のダイナミック・レンジを制限します。ノイズ・フロアは、アベレージングまたはシステムの帯域幅 (IF帯域幅) を減少させることで改善できます。

スムージングは、通常アベレージングやIF帯域幅調整と同類のものと考えられるもう1つの手法ですが、この手法ではノイズ・フロアは改善できません。スムージングは、フォーマット・データの隣接点のアベレージングで、ビデオ・フィルタリングに似ています。トレース間 (または掃引間) アベレージングは、プリフォーマットされたベクトル・データを対象に行われるので、実際に雑音パワーを低減できます。こうした基本的な相違が、スムージングがノイズ・フロアを低減できない原因となっています。ただし、トレース上のノイズの僅かなp-p変動は、スムージングにより減少します。¹

アベレージング

PNAシリーズとその他多くのネットワーク・アナライザは、各掃引のデータ・ポイントの指数加重平均を取ることで、掃引間の平均値を算出します。データ・セット内のサンプルに指数加重を与えることにより、目的のアベレージング回数に到達した後も、アベレージングを続けることができます。アベレージングは複素数データに対して行われるので、データの平均値はベクトル的に算出されます。

多くのシグナル・アナライザにスケラ・アベレージングが採用されています。スケラ・アベレージングはノイズの分散を低減するだけで、平均ノイズ・レベルには影響を与えません。コヒーレント信号と非相関雑音の両方を含むトレースがベクトル的に平均化される場合、雑音成分がゼロに近づき、その結果トレースは雑音の少ない目的の信号になります。ネットワーク・アナライザのディスプレイ上でログ振幅形式で見ると、平均ノイズ・レベルが減少し、ダイナミック・レンジが改善されていることがはっきり分かります。

ほとんどのベクトル・ネットワーク・アナライザが備えているアベレージング機能を利用すると、S/N比はアベレージングが2倍に増加する毎に3dBだけ改善されます。これはノイズ・フロアを低減するのに優れた方法です。しかし、この方法では、2トレースの平均値を算出する必要がある場合に測定に2倍の時間がかかるので、測定速度も低下します。

アベレージングは比測定に利用できるだけで、単一のレシーバ・チャネルを使用した測定では機能しません。アベレージングは比測定以外には利用できません。このモードでは位相がランダムで、アベレージング（これは複素数領域で実行されます）の結果が必ずゼロに近づくからです。

IF帯域幅の減少

システムのIF帯域幅は、フロント・パネルまたはリモート・プログラミングにより変更することができます。そして、その値はアナライザのレシーバの収集データに対するデジタル・フィルタ機能に影響を与えます。IF帯域幅を減少させると、デジタル・フィルタの帯域幅外にあるノイズがフィルタで除去されるのでノイズ・フロアが低減します。

アナライザのレシーバ・チェーンに存在するロー・レベル・ノイズは、抵抗器内部の電子の熱擾乱から生ずる熱雑音により発生します。そのため、これは帯域幅に正比例します。熱雑音電圧の平均二乗値は次式で表されます。

$$E^2 = 4RkTB$$

ここで、

kはボルツマン定数

$$(1.38 \times 10^{-23} \text{ Joule/Kelvin})$$

Tは絶対温度（ケルビン温度、K）

Rは抵抗成分（Ω）

Bは帯域幅（Hz）

複素共役負荷に印加される雑音パワーは次式で表されます。

$$P_n = E^2 / 4R = kTB$$

これは、雑音パワーに関するよく知られた「kTB」関係式²です。

雑音は、小さな現象の集合により発生し、正規確率分布（これは中心極限定理³により証明できます）を示すので、現実にはランダムであり、不確定性であると考えられます。

ノイズ・フロアとIF帯域幅の関係が非常に明確であるため、IF帯域幅を狭めることによるノイズ・フロアの減少を正確に計算できます。PNAネットワーク・アナライザを用いて実際に実験してみましょう。RMSノイズ・レベルを5種類のCW周波数（1、3、5、7、9GHz）で測定しました。掃引は801ポイントで、IF帯域幅を1Hz、10Hz、100Hz、1kHz、10kHzに設定しました。ベクトル・ネットワーク・アナライザのノイズ・フロアを、テスト・ポートに信号が存在しない状態で測定しました。図3に、測定したノイズ・フロアとIF帯域幅の関係を示します。この図では、PNAのRMSノイズ・フロアが理論的な予想とよく一致しているため理論からのずれは無視できます。

アベレージングの場合と同様、IF帯域幅を狭めてノイズ・フロアを減少させると、測定速度が低下します。IF帯域幅が1/10に減少すると、ノイズ・フロアが10dBだけ減少し、測定時間が10倍に増加することが予想されますが、この予想は必ずしも正しくありません。各種IF帯域幅のネットワーク・アナライザに使用されるデジタル・フィルタは、形が様でない場合があるからです。たとえば、PNAシリーズでは、IF帯域幅が1/10に減少した場合、掃引時間の増加は10倍未満です。すなわち、ノイズ・フロアを同じ量だけ減少させるのに、IF帯域幅の減少による測定速度の低下はアベレージングの場合よりも少なくなります。

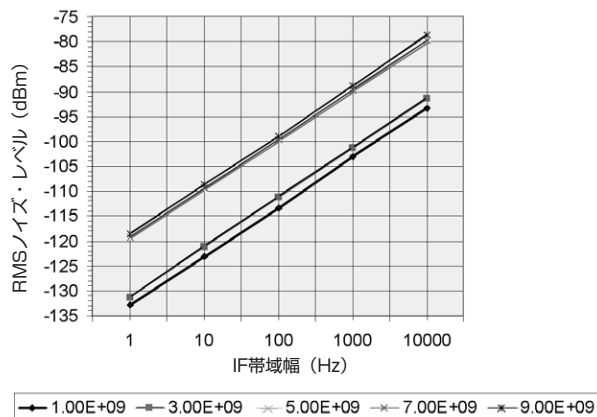


図3 RMSノイズ・フロアとIF帯域幅の関係 (n=801ポイント)

最良の方法の選択

ノイズ・フロアを低減するためには、アベレージングを増やすかIF帯域幅を狭めます。測定速度が最重要課題でなければ、いずれの方法もうまく機能します。トレース用のデータ（サイクル・タイムと呼ばれます）の入手と処理に要する時間には、掃引時間だけでなく、再トレース時間、バンド移動時間、表示更新時間も含まれます。

アベレージングには複数のトレースが必要なためその都度表示を更新するので、アベレージングを採用する場合、特に多くの平均値を算出する必要があるときは、IF帯域幅を狭める場合よりもやや長い時間が通常かかります。測定時間への影響の相違は、大部分が様々なIF帯域幅に対するデジタル・フィルタにより生ずることを念頭に置く必要があります。この影響はサイクル・タイムの掃引時間に現れるので、2つのノイズ・フロア低減法の測定時間への影響を明らかにするためには、掃引時間のみを検討します。

IF帯域幅を10kHzに設定したPNAシリーズを考えてみます。ダイナミック・レンジを10dB改善したい場合、10回の掃引の平均値を算出するか、またはIF帯域幅を1kHzに設定することでこの目標は達成できます。表1に、ダイナミック・レンジを10dBまたは20dB改善する場合の、2つの方法の掃引時間への影響を示します。

表1 高速IF帯域幅の場合の掃引時間への影響

		ノイズ・フロアの低減 (dB)	掃引時間の増加率
10kHz	アベレージング10回	10	10
1kHz	アベレージングなし	10	7.75
10kHz	アベレージング100回	20	100
100Hz	アベレージングなし	20	74.8

この例では、かなり高速のIF帯域幅を採用していて、ダイナミック・レンジを改善しようとする場合、IF帯域幅を減少させる方がアベレージングよりも有利であることを示しています。しかし、次に少し遅い掃引モード（すなわち、低いIF帯域幅）を考察します。PNAのIF帯域幅を100Hzに設定し、ノイズ・フロアを10dB低減したい場合、10回の掃引のアベレージングが適用できますが、IF帯域幅を10Hzに狭めることもできます。表2に掃引時間への影響を示します。

表2 低速IF帯域幅の場合の掃引時間への影響

		ノイズ・フロアの低減 (dB)	掃引時間の増加率
100Hz	アベレージング10回	10	10
10Hz	アベレージングなし	10	9.9
100Hz	アベレージング100回	20	100
1Hz	アベレージングなし	20	99.5

サイクル・タイムの増加は掃引時間の増加にほぼ等しく、ダイナミック・レンジを大きくするためには、ネットワーク・アナライザが高速掃引モードの場合、IF帯域幅を減少させる方法がアベレージング法よりも測定速度への影響の点で有利であることが明らかです。低速掃引モードの場合、測定速度への影響は2つの方法のいずれも基本的に同じです。

所定の測定アプリケーションのダイナミック・レンジを拡大するためにどちらの方法を選択するかを決定する際、他にも検討した方がよい要因があります。ノイズ・フロアを低減するのにアベレージングを採用すると、アベレージングが進行中にPNA画面でトレースを観察することができ、このことが設計者に役立つ場合があります。IF帯域幅を減少させる方法は（比モードのみで機能するアベレージング法と異なり）比測定と比測定以外の両方に適用できるので、これが決定要因になる場合があります。

PNAシリーズはIF帯域幅の選択肢が多いので、設計者は測定速度の低下を最小限に抑えながら、要求されるノイズ・フロア低減に柔軟に対応できます。多くの場合、アベレージング法とIF帯域幅を調整する方法によってダイナミック・レンジを拡大することができます。

ダイナミック・レンジ、セグメント掃引、フレキシブル・テスト・セット

測定速度と広いダイナミック・レンジの両方を最適化する必要があるアプリケーションでは、ある種のネットワーク・アナライザが備えているセグメント掃引機能が役立ちます。この機能は、高い出力レベルの通過帯域と非常に低い出力レベルの阻止帯域を同時に評価することが要求されるフィルタの測定に非常に有益です。セグメント掃引では、周波数掃引を複数のセグメントに分割でき、各セグメントにはそのセグメント自身のストップ周波数とスタート周波数、IF帯域幅、出力レベル、ポイント数があります。フィルタを測定する際、通過帯域のIF帯域幅は、高レベルのトレース・ノイズが十分に抑制できる限り、高速掃引速度に対して広範な設定が可能です。

ノイズ・フロアが測定誤差に大きな影響を及ぼす阻止帯域では、平均ノイズ・レベル低減の要求を十分に満たす低い値にIF帯域幅を設定できます。アナライザのダイナミック・レンジをさらに拡大するため、テスト・セットの構成を変更するとともにセグメント掃引を採用することができます(図4)。この方法を採用して受信テスト・ポートの方向性結合器を反対方向に向けることにより、ダイナミック・レンジを12~15dB拡大できます。

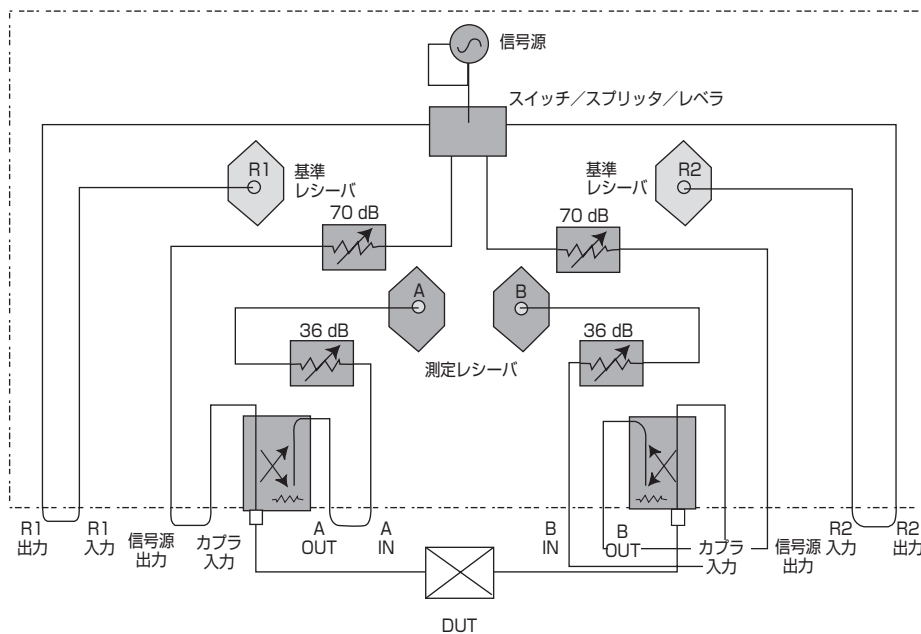


図4

要約

ネットワーク・アナライザのダイナミック・レンジは、各種測定において最も重要なパラメータで、アベレーシングまたはIF帯域幅削減でノイズフロアを低減することにより広げることができます。しかし、場合によってはいずれの方法も適用上の難点があり、測定速度に影響を及ぼします。この2つの方法とは別に、フレキシブル・テスト・セットおよび当社PNAシリーズなどのネットワーク・アナライザに装備されたセグメント掃引機能を採用して、ダイナミック・レンジをさらに向上させ、測定速度の低下を防ぐことが可能です。

参考文献

1. Robert A. Witte, *Spectrum and Network Measurements*, Upper Saddle River, New Jersey, Prentice Hall PTR, Inc., 1993.
2. H.L. Krauss, C.W. Bostian, and F.H. Raab, *Solid State Radio Engineering*, New York, NY: John Wiley & Sons, Inc. 1980, pp. 11-24.
3. Alberto Leon-Garcia, *Probability and Random Process for Electrical Engineering*, 2nd ed., New York, NY: Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1994.

サポート、サービス、およびアシスタンス
アジレント・テクノロジーがサービスおよびサポートにおいてお約束できることは明確です。リスクを最小限に抑え、さまざまな問題の解決を図りながら、お客様の利益を最大限に高めることにあります。アジレント・テクノロジーは、お客様が納得できる計測機能の提供、お客様のニーズに応じたサポート体制の確立に努めています。アジレント・テクノロジーの多種多様なサポート・リソースとサービスを利用すれば、用途に合ったアジレント・テクノロジーの製品を選択し、製品を十分に活用することができます。アジレント・テクノロジーのすべての測定器およびシステムには、グローバル保証が付いています。製品の製造終了後、最低5年間はサポートを提供します。アジレント・テクノロジーのサポート政策全体を貫く2つの理念が、「アジレント・テクノロジーのプロミス」と「お客様のアドバンテージ」です。

アジレント・テクノロジーのプロミス

アジレント・テクノロジーは、お客様が購入された機器が広告どおりの性能と機能を備えていることをお約束します。お客様が新たに製品を購入される場合には、アジレント・テクノロジーの経験豊富な計測技術者が現実的な性能や実用的な製品の推奨を含む製品情報をお届けします。アジレント・テクノロジー製品を使用される場合には、機器が正しく動作するかの動作検証や、機器操作のサポート、明記された機能を使いこなすための基本測定に関するアドバイスなどのサービスを、要請に応じ追加料金なしで提供します。また、セルフヘルプ・ツールも多数ご用意しています。

お客様のアドバンテージ

お客様は、アジレント・テクノロジーが提供する多様な専門的テストおよび測定サービスを利用することができます。こうしたサービスは、お客様それぞれの技術的ニーズおよびビジネス・ニーズに応じて購入することが可能です。お客様は、設計、システム統合、プロジェクト管理、その他の専門的なサービスのほか、校正、追加料金によるアップグレード、保証期間終了後の修理、オンサイトの教育およびトレーニングなどのサービスを購入することにより、問題を効率良く解決して、市場のきびしい競争に勝ち抜くことができます。世界各地の経験豊富なアジレント・テクノロジーのエンジニアが、お客様の生産性の向上、設備投資の回収率の最大化、製品の測定確度の維持をお手伝いします。

アジレント・テクノロジー株式会社

本社 〒192-8510 東京都八王子市高倉町9-1

計測
お客様窓口

受付時間 9:00~19:00
(土・日・祭日を除く)
※FAXは24時間受け付け

TEL ☎ 0120-421-345
(0426-56-7832)

FAX ☎ 0120-421-678
(0426-56-7840)

E-mail: mac_support@agilent.com

電子計測ホームページ Test & Measurement URL
<http://www.agilent.co.jp/find/tm>

- 記載事項は変更になる場合があります。
ご発注の際はご確認ください。

Copyright©2000
アジレント・テクノロジー株式会社



Agilent Technologies

Innovating the HP Way

5980-2778J
100003301-DHC/H