

NX Nastran のパフォーマンス

NX Nastran を強化するためのシーメンス PLM ソフトウェアの
取り組み

www.siemens.com/plm

white paper



- ▶ シーメンス PLM ソフトウェアの製品開発グループは、分野の拡張、使いやすさとプロセスの改善、および NX™ Nastran のパフォーマンスの向上を 3 つの重要領域として、NX Nastran ソフトウェアの強化に取り組んでいます。これらの強化にはそれぞれの価値がありますが、このホワイトペーパーでは、大規模な問題の解を求める必要があるユーザが NX Nastran をソリューションとして選択する際の決め手となる、パフォーマンスの向上に焦点を当てます。

PLM Software

Answers for industry.

SIEMENS

目次

エグゼクティブ・サマリー	1
パフォーマンスの向上	2
再帰的ドメインソリューションの 使用に関する説明	4
まとめ	6

▶ エグゼクティブ・サマリー

シーメンス PLM ソフトウェアの製品開発グループは、次に示す 3 つの項目を主軸として NX Nastran の強化に取り組んでいます。

- 分野の拡張を実現する
- 使いやすさとソリューションのプロセスを改善する
- パフォーマンスを向上させる

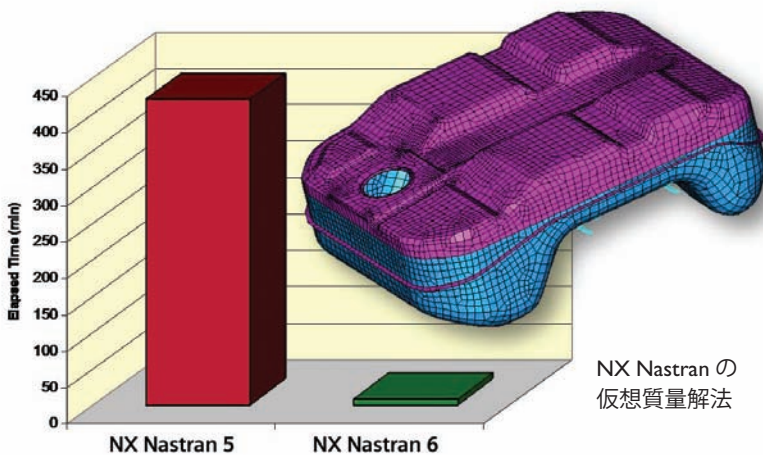
分野の拡張

シーメンス PLM ソフトウェアによる分野の拡張は、Nastran の対応範囲と、Nastran で解を求めることができる物理問題の種類を広げます。たとえば、高度な非線形機能を使用すると、非線形接触に関する問題を調べたり、ドアシールや同様の用途に使用される超弾性材料などの複雑な材料を定義できます。さらに、変形時間が短いにもかかわらず非線形効果が非常に大きい、超高速の物理的用途についても解を求めることができます。他の例として、ローターダイナミクス、および統合多分野ソリューションが挙げられます。これには、モーション機能、連成熱機能、計算流体力学 (CFD) 機能が含まれます。

使いやすさとプロセスの改善

使いやすさとプロセスの改善により、NX Nastran ユーザの生産性が向上しています。この改善には、NX Nastran のコア機能の強化だけでなく、NX CAE のプリプロセッシング環境およびポストプロセッシング環境における優れた統合機能が含まれます。好例として、NX Nastran で採用されている、メッシュの接続を容易にする方法が挙げられます。NX Nastran にはグルーピングと呼ばれるプロセスがあり、ユーザはこのプロセスを使用して、複数のコンポーネントを貼り合わせ、有限要素アセンブリを構成できます。このプロセスは、2 つのアイテムが緊密に接続される圧入箇所に見られる線形接触など、幅広い接続をサポートします。NX Nastran の線形接触アルゴリズムに導入された新しい自動ペナルティ要因計算は、現在、非常に優れた精度です。接触の繰り返しが少ないことは、実行時間が短くなることを意味します。お客様のテスト事例では、8 倍以上の改善が実現されています。

その他のプロセスの改善として、内部音響問題を処理する NX Nastran の機能が挙げられます。音響構造連成マトリクスの計算に新しいアプローチを採用することで、従来の方法に比べて 100 倍を超える処理速度の改善を実現しています。さらに、新しい仮想質量解法により、燃料タンクや船舶など液体内で振動する中型から大型のモデルに対するパフォーマンスが飛躍的に向上しています (次の図を参照)。



分野の拡張

- フィジックスソリューションの追加
- 共通のモデリング形式

使いやすさ/プロセスの改善

- 簡単なモデリング
- 精度の向上

パフォーマンスの向上

- モデルサイズの拡大
- 最先端

ここからは、NX Nastran のパフォーマンスの強化について詳しく説明します。

パフォーマンスの向上

NX Nastran の分野の拡張、および使いやすさとプロセスの改善の価値は非常に高いものですが、シーメンス PLM ソフトウェアによる強化の中心にあるのはパフォーマンスの向上です。今日の規模が拡大していく問題の解を求める必要があるユーザが NX Nastran をソリューションとして選ぶ決め手となっているのは、そのパフォーマンスです。シーメンス PLM ソフトウェアでは、重要な領域について熱心な努力を重ねています。その1つとして、NX Nastran のパフォーマンスの改善があり、大規模な力学的問題で、複数に分割できるものについては、複数のプロセッサに送ることでパフォーマンスを改善しています。NX Nastran では、分散メモリ並列プロセス (DMP) を使用して、このような問題を非常に独特な方法でサポートしています。

▶ パフォーマンスの向上

NX Nastran ユーザは、問題を分割し、DMP クラスタ環境で利用可能な複数のプロセッサを活用することによって、パフォーマンスをほぼ直線的に向上させることができます。NX Nastran には、メモリアドレス指定機能に対する拡張も追加されています。これにより、自由度が 5 億以上の複数のベンチマークによって実証されているように、ユーザは非常に大規模な問題を解くことができるようになります。NX Nastran は、非常に大規模な力学問題を非常に迅速に解くことができます。

大規模なマトリクスの処理

主な向上は、NX Nastran による非常に大規模なマトリクスの処理方法に関するものです。反復ソルバーや関連手順などを追加することによって、必要に応じてこれらのマトリクスを分解して関連する問題を解くためにかかる時間を短縮します。シーメンス PLM ソフトウェアは、非常に複雑なジオメトリ（通常は鋳造やその他の種類の構造的用途）を高速に分解できる反復ソルバーを NX Nastran に導入しました。これにより、ユーザは、結果を迅速に検証できるようになります。

反復ソルバーは初期のプロジェクトで導入されました。シーメンス PLM ソフトウェアの開発チームは、パフォーマンスを改善し、元の機能と比べて 7 倍のパフォーマンス向上を実現しました。メモリ管理に関する拡張機能と組み合わせることで、当時の競合ソルバーでは不可能だった大規模な問題を解く、まったく新しい可能性を開くことに成功しました。

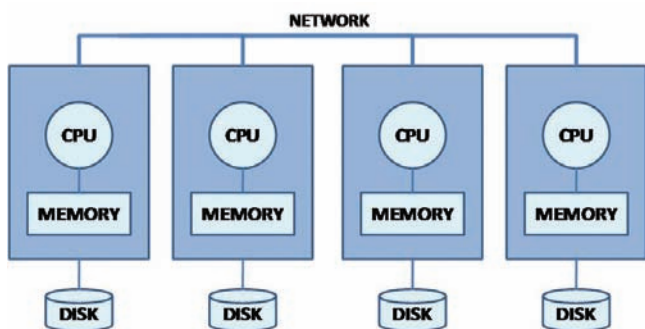
新しいコンピュータシステムアーキテクチャの活用

その後、課題となったのは、NX Nastran で現在の新しいコンピュータシステムアーキテクチャを最も効率的に活用する方法でした。NX Nastran では、共有メモリ処理 (SMP) は、すべてのソリューションシーケンスについてマトリクスの分解やマトリクスの合成など、低レベルの操作にのみ使用されます。マトリクスの合成はどのソリューションシーケンスでも行われるため、ハードウェアが SMP をサポートしている限り、すべての解析のあらゆるソリューションシーケンスで SMP が有効になる可能性があります。この場合、ソリューションの大幅な高速化が見込まれます。

複数のプロセッサを並行して使用することにより、1つのプロセッサを使用する従来のシリアルソリューションと比較して、ソリューションの実行時間を大幅に短縮できます。さらに、分散メモリ処理（DMP）を使用することで、共有メモリ処理（SMP）よりもはるかに高レベルのスケーラビリティを実現できます。これは、共有メモリを使用するマルチプロセッサノード、または複数のコアを使用するプロセッサノードに適したテクノロジーです。

DMPソリューションでは、ネットワークを介して通信する複数のプロセッサと複数のI/Oチャンネルを持つクラスタが使用されます。下の図には、DMPを実行するハードウェアシステムの代表的なアーキテクチャを示しています。各プロセッサには、独自のメモリと1つ以上のディスクがあります。

DMPソリューションの基礎にあるのは、ジオメトリ（周波数）ドメインまたは荷重ドメインのドメイン分解です。DMP方式では、有限要素モデルを、同時に解くことができる小さい単位に分割することで、そのソリューション実行速度が実現されています。ユーザはプロセッサの数を指定するだけで、ソリューションのパーティショニングは内部的に行われます。



この分割は、ジオメトリまたは周波数範囲について、個別にまたは両方同時に実行されます。各プロセッサはジオメトリまたは周波数範囲の独自のパーティションで機能しますが、相互に通信して情報を共有します。ソリューションの実行が完了すると、結果が統合され、単一の結果ファイルが作成されます。

NX Nastran には、ソリューションドメインのパーティショニングのための多くのオプションがあります。次の表に、これらのオプションを示します。

ソリューション	ジオメトリ	周波数	階層	再帰的	荷重
静解析 (101)	•				•
固有値 (103)	•	•	•	•	
複素固有値 (108)		•			
モーダル周波数 (111)	•	•	•	•	
モーダル過渡 (112)	•	•	•		
設計最適化 (200)	•	•	•		

ジオメトリドメインのパーティショニングは、静的ソリューションおよび動的ソリューションに使用できます。物理モデルは、ジオメトリパーティションに自動的に分割され、それぞれ異なるプロセッサで解が求められます。これは、概念的に言うと、利用可能なプロセッサの数に応じてパフォーマンスが向上する、自動サブ構造化（スーパーエレメント）アプローチに類似しています。このアプローチにより、問題の解を求めるために必要なディスク領域およびメモリの量が大幅に削減され、固有解を求める計算上正確なソリューションが提供されます。

周波数ドメインのパーティショニングは、動的ソリューションに使用できます。対象となる周波数範囲は、個別に解が求められる周波数範囲のセグメントに自動的にパーティショニングされます。各プロセッサはその周波数セグメント内のモデル全体の解を求めます。通信が必要になるのは、マスタープロセッサで結果を収集する場合のみです。

階層ドメインのパーティショニングは、ジオメトリドメインと周波数ドメインの方法を組み合わせたものです。このアプローチはモーダルソリューションに使用され、いずれかの方式を個別に使用する場合より高レベルのスケラビリティが実現されます。このアプローチを使用すると、プロセッサのサブセット、またはクラスタによって、ローカルジオメトリの固有値問題の解が求められます。その際、他の周波数範囲を考慮するために、プロセッサの他のサブセット、または他のクラスタとの通信が行われます。階層ドメインにとって望ましいハードウェア環境は、通常、ハードウェアスイッチまたはネットワークによって結合されているマルチプロセッサワークステーションのクラスタです。

荷重ドメインのパーティショニングは、線形静解析問題で多数の荷重事例が存在する場合に有用です。有限要素モデルのパーティショニングを行う代わりに、プロセッサ間で可能な限り均一になるように荷重マトリクスのパーティショニングが行われ、各プロセッサ内でそれぞれの荷重事例について線形ソリューションの計算が行われます。周波数ドメインのパーティショニングと同様に、荷重ドメインのパーティショニングはプロセッサ間の通信を必要とせず、ほぼ線形のスケラビリティを示します。

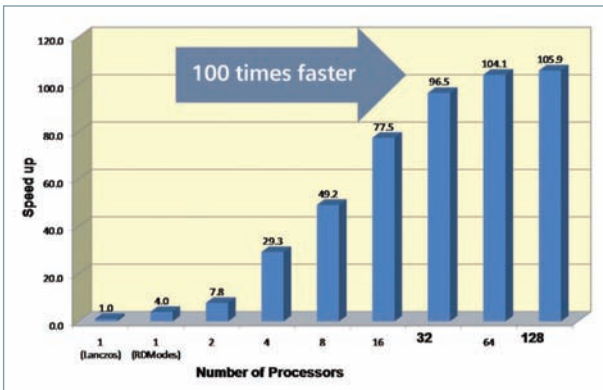
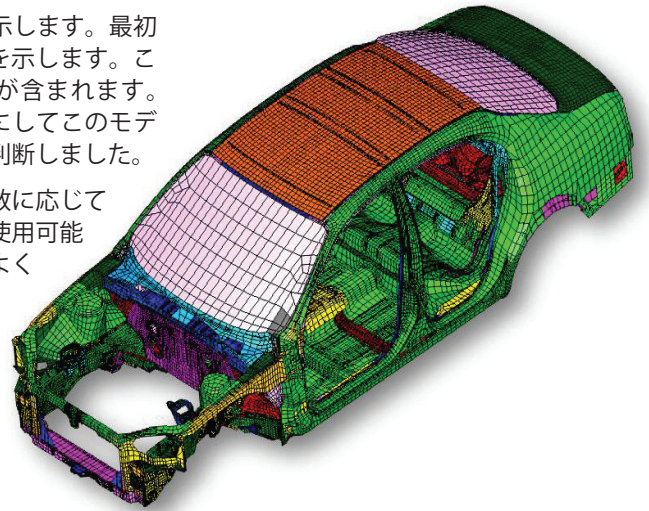
再帰的サブ構造化は、最新の DMP 方式です。この方式は、モーダルソリューションに有効であり、今までで最もスケラブルなソリューションです。自動マトリクス縮小を実行することによって、質量マトリクスまたは剛性マトリクスの複数レベルのパーティションに対して作用します。数学的な縮小方式であるため、求められる解は他の DMP 方式と比較すると近似的なものです。しかし、この近似は非常に優れたものであり、正確な解とほとんど差がないことが経験上わかっています。

この方式はスケラビリティに優れており、次の例の 1 つに示すように、128 個の CPU を使用することができました。単一プロセッサでの Lanczos 法を基準として使用すると、再帰的な DMP ソリューションでは 100 倍を超える速度で解を求めることができます。再帰法を単一プロセッサで実行することもできます。この場合、サブ構造化の効果によって、Lanczos 法より 4 倍高速に実行できます。

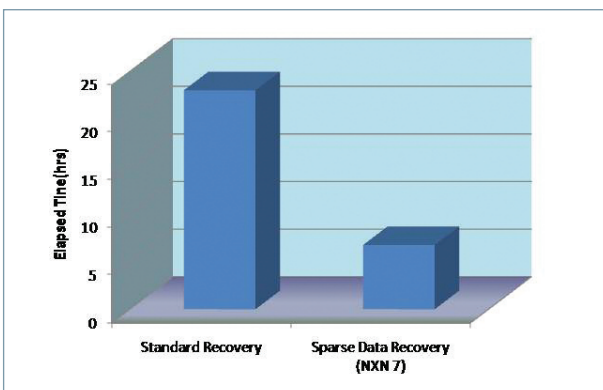
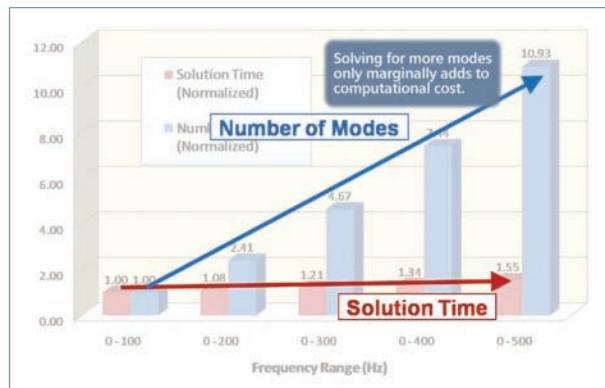
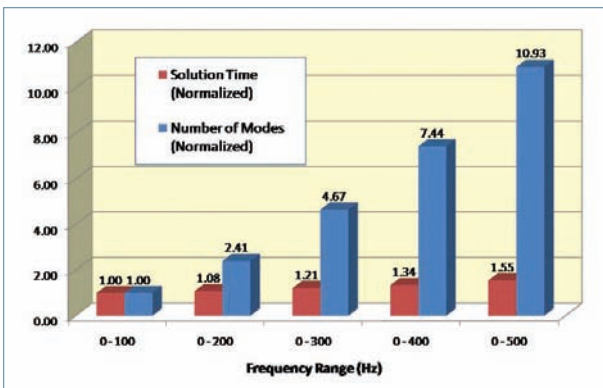
▶ 再帰的ドメインソリューションの使用に関する説明

再帰的なドメインソリューションの使用について説明する2つの例を示します。最初に、トリミングされた車体のFEモデルの通常モード（固有値）解析を示します。このモデルの自由度は約650万で、約130万の節点、約120万の節点が含まれます。NX Nastran 7.0の新機能であるスパース固有ベクトルリカバリを有効にしてこのモデルを実行し、経過時間とプロセッサ数の比較からスケーラビリティを判断しました。

次のグラフに示すように、解を求める速度は、使用するプロセッサの数に応じて上昇し続けます。速度の上昇に見られる線形性は、モデルのサイズと使用可能なプロセッサの数に依存すると考えられ、スケーラビリティと非常によく対応しています。



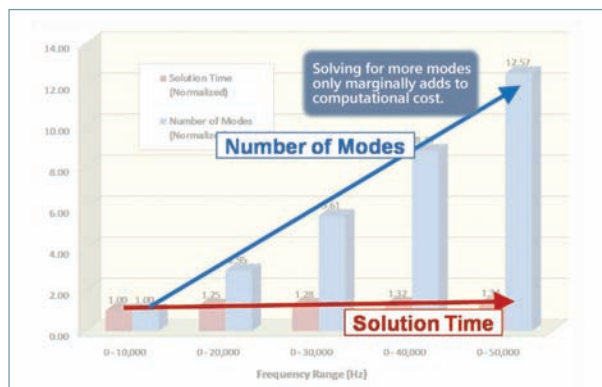
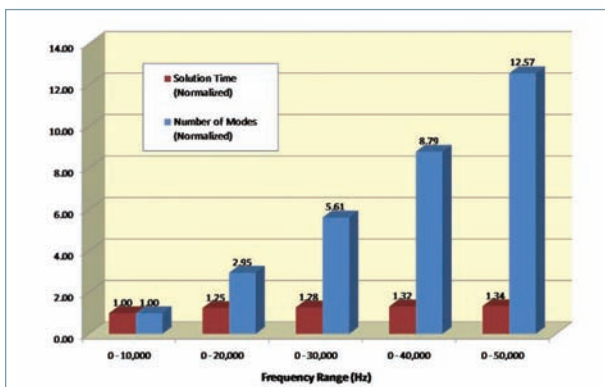
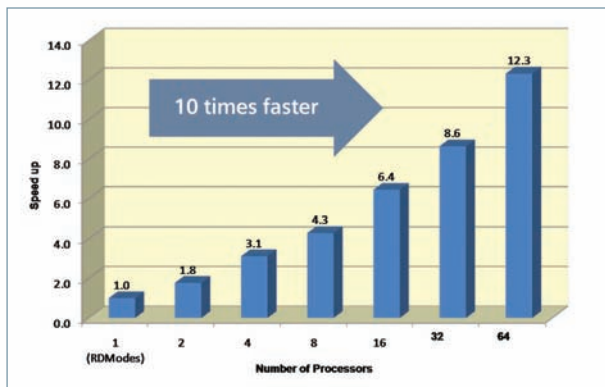
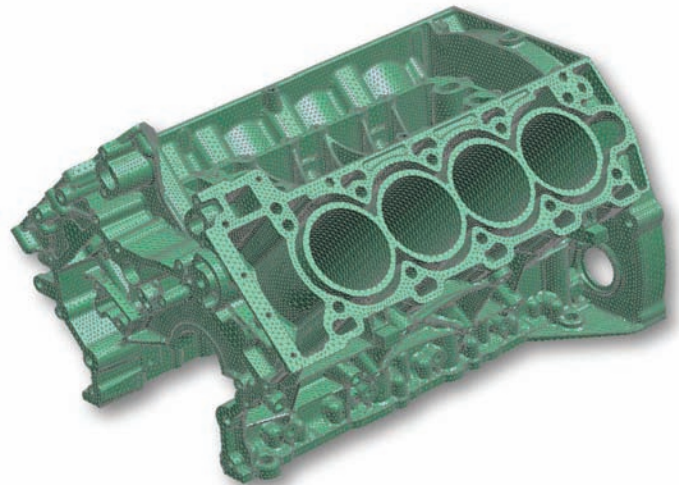
初回の実行では、約1,000個のモードの計算を最大300Hzで行いました。ただし、解析を使用して、要求されるモードの数に関連するパフォーマンスへの影響のテストも行いました。次のグラフに示すように、計算されたモードの数と比べると、解を求めるためにかかる時間は比較的横ばいであることがわかります。



この事例は、スパースデータリカバリの値も注目になります。多くの場合、ユーザは少数の重要な場所における解にしか関心を持たないため、大規模な問題に対してこのアプローチを実施してみました。このような事例では、スパース固有ベクトルリカバリ法が自動的に呼び出され、全体的な計算時間とストレージリソースを大幅に削減できます（この事例では5倍）。

次の例は、節点が 360 万、四面体二次要素が 230 万、自由度が 1,080 万の V8 エンジンモデルに関するものです。

Linux OS を実行する 64 個の CPU を持つ HP クラスタで問題の解を求めています。次に示す結果からわかるように、この場合もパフォーマンスは向上します。モデルにさまざまな種類のメッシュを使用してみることは、常に重要です。解を求めるマトリクスにはさまざまな形式があり、その形式によって目標とするパフォーマンス向上を実現するためにソルバーのアルゴリズムに要求される効率が変わってくるためです。



上記の事例では、0~10,000 Hz の範囲で約 250 個のモードの計算を行いました。要求されるモードの数と消費 CPU 時間の関係进行测试した場合でも、解を求めるモードを増やしても計算コストがわずかに増加するだけであることがわかりました。

▶ まとめ

数百万のノードと数千万の自由度を持つ複雑なモデルが今日の規準になりつつあります。解析モデルのサイズと複雑さが増大し続けるにつれて、企業が結果を適時に生成して、設計に関する重要な意思決定に影響を与えるようにする上で、ソルバーのパフォーマンスが重要な要因になります。シーメンス PLM ソフトウェアは、NX Nastran の開発戦略の中核を成すものとして、ソルバーのパフォーマンスの重要性を認識しています。

シーメンス PLM ソフトウェアについて

シーメンス PLM ソフトウェアは、シーメンス産業オートメーション事業部のビジネス・ユニットで、PLM（製品ライフサイクル管理）ソフトウェアおよび関連サービスにおいて世界をリードする PLM プロバイダです。これまで世界 6 万 3,000 社のお客様にサービスを提供し、670 万ライセンスに及ぶソフトウェア販売実績を上げています。米国テキサス州プラノを本拠地として、数多くの企業と協働して、豊富なアイデアを価値ある製品に変えるオープンなソリューションを提供しています。シーメンス PLM ソフトウェアの製品やサービスに関する詳細は、www.siemens.com/plm にてご覧いただけます。

シーメンスPLMソフトウェア

本社	北米・中南米	ヨーロッパ	アジア／太平洋	日本
Granite Park One 5800 Granite Parkway Suite 600 Plano, TX 75024 USA 972 987 3000 Fax 972 987 3398	Granite Park One 5800 Granite Parkway Suite 600 Plano, TX 75024 USA 800 498 5351 Fax 972 987 3398	3 Knoll Road Camberley Surrey GU15 3SY United Kingdom 44 (0) 1276 702000 Fax 44 (0) 1276 702130	Suites 6804-8, 68/F Central Plaza 18 Harbour Road WanChai Hong Kong 852 2230 3333 Fax 852 2230 3210	〒151-8583 東京都渋谷区 代々木2-2-1 小田急サザンタワー 03-5354-6700 Fax 03-5354-6780

www.siemens.com/plm

© 2010 Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. All rights reserved. Siemens および Siemens のロゴは、Siemens AG の登録商標です。D-Cubed、Femap、Geolus、GO PLM、I-deas、Insight、Jack、JT、Parasolid、Solid Edge、Teamcenter、Tecnomatix および Velocity Series は、Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. またはその子会社の米国およびその他の国における商標または登録商標です。その他のロゴ、商標、登録商標、またはサービスマークは、それぞれ各所有者に帰属します。

W16-JA 19887 9/10 L