

故障データがなくてもできる異常検知 ～物理モデルの活用編～

MathWorks Japan

アプリケーションエンジニアリング部（テクニカルコンピューティング）

王 晓星

xwang@mathworks.com

アジェンダ

- 異常検知・故障予測
- 開発事例
- 故障データが無い場合のアプローチ
 - 第一部：物理モデルの活用
 - 第二部：センサーデータの活用
- まとめ

異常検知・故障予測の必要性

- 例: ブレーキシステムの故障による風車破壊
<https://www.youtube.com/watch?v=gdTOKfmSAsc>
- メンテナンスの重要性
- コスト・危険が伴う
- 故障の事前予測・予知保全



メンテナンスの種類

- **Reactive** – 問題が起こった時に (事後保全)
 - 例：車のバッテリーに問題が発生した時に交換
 - 難点：予期しない故障には危険が伴い、高コスト、稼働率低下の課題も
- **Preventive** – 一定期間経過した時に (予防保全)
 - 例: 走行距離3,000 km または3ヶ月毎のオイル交換
 - 難点：故障の有無に関係なく実施、故障をすべて防げるわけではない
- **Predictive** – 問題が起きるまでの時間を予測して (予知保全)
 - 例：バッテリー・燃料ポンプやセルモーターの問題を事前に予測する車両モデル
 - 難点：専門的な技術能力が求められる

予知保全で直面する 4 課題

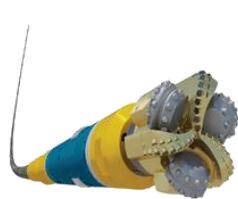
1. 十分な量のデータがない
2. 十分な量の故障データがない
3. 故障予測の方法が分からぬ
4. 予知保全アルゴリズムの構築方法が分からぬ

ホワイトペーパー

予知保全で直面しやすい4つの課題と
その対処法

こちらからDL: [予知保全で直面しやすい 4つの課題とその対処法](#)

予知保全が注目される背景



オイル & ガス
採掘



風力タービン



半導体製造機



産業機械



重機



航空機エンジン

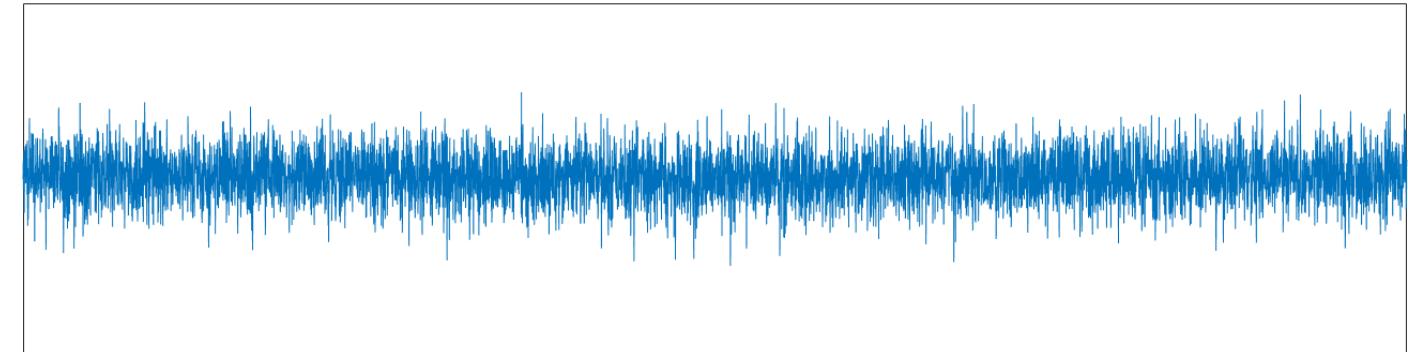
予知保全が注目される背景

- 故障の複雑化・メンテナンス費用の高騰
- 機器の老朽化
- 熟練技師の不足
- センサー・データ処理技術の進化

予知保全：風力タービンへの応用



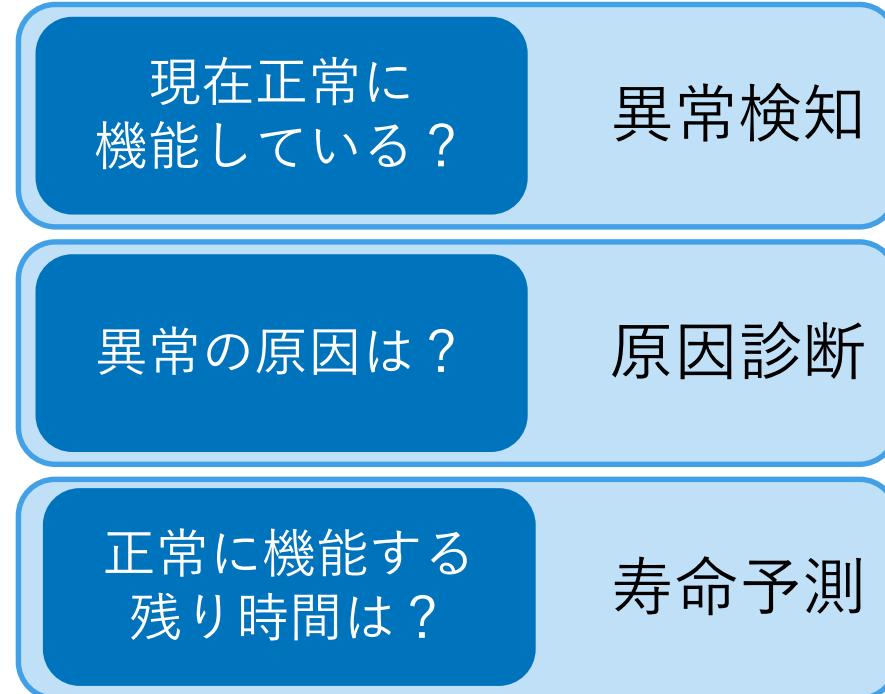
時系列データ



現場エンジニア

- メンテナンスが必要
- ベアリングが故障
- 15時間以内**に機械が停止
- 寿命**

3つの「目的・機能レベル」別予知保全



メンテナンスが必要

ベアリングが故障

15時間以内に機械停止



収益増大 / コスト削減

故障警告システムの開発事例

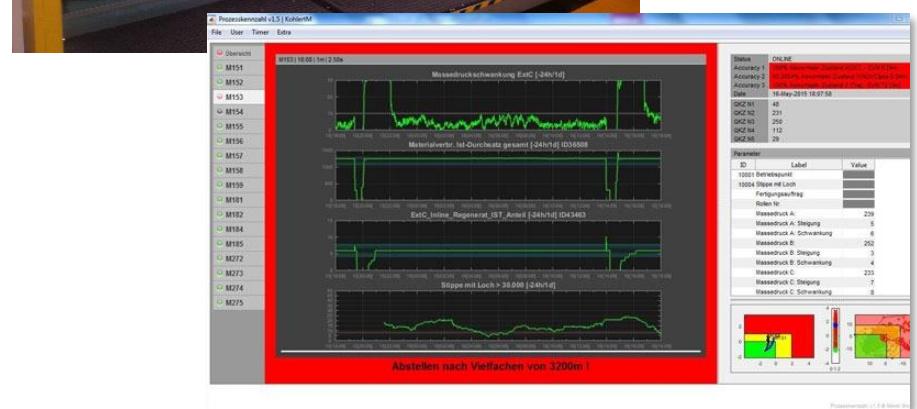
包装・製紙メーカー：Mondi Gronau社（ドイツ）

- 課題
プラスチックフィルム製造工場で
機械ダウントIMEと廃棄を減らしたい

- ソリューション
機械の故障を予測する監視ソフトウェア
の開発・実装（技術コンサル提供）

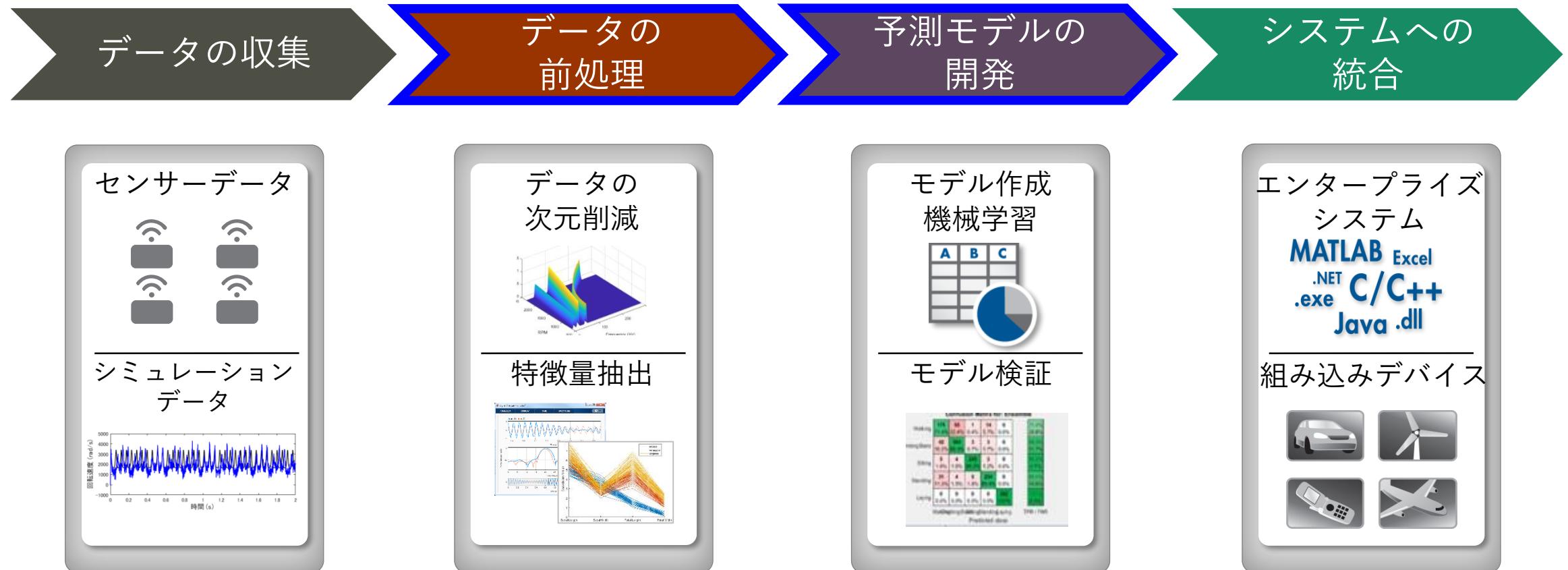
- 結果
 - ✓ 年間€5万以上のコスト削減
 - ✓ 潜在的異常の警告を発信するソフトウェア

“中断のない安定した運用が可能に”
- Dr. Michael Kohlert (Mondi)



[詳細URL](#)

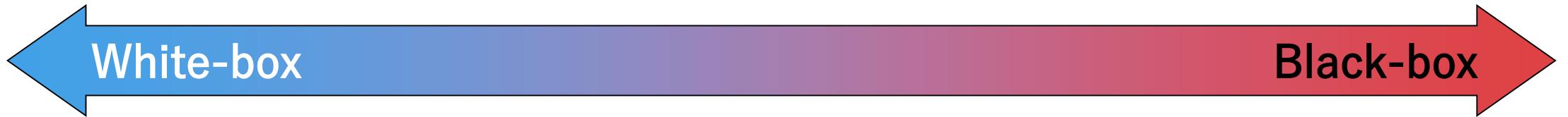
アルゴリズム開発フロー：4つのステップ



データ収集のアプローチ

物理法則に基づく方法

実験データに基づく方法



Model-driven 物理モデルベース

- 専門・業界知識の活用
- 物理的な関係からモデル作成
- 計測しにくいデータなどを補完
- 高精度の予測モデルへの寄与

Simscape™による物理モデル構築

Multidomain schematic

A schematic diagram showing a network of components. It includes a spring element (A-B), a valve element, a heat transfer block labeled 'Heat Transfer', a motor block labeled 'Motor', and a gear block labeled 'Gear'.

Dual Clutch Transmission

A 3D visualization of a dual clutch transmission gear assembly, showing the internal meshing of various gears and shafts.

Block diagram

A block diagram showing a control system. It includes a 'Proportional Gain' block (Kp) and a 'Discrete-Time Integrator' block ($\frac{K Ts}{z-1}$). The input to the integrator is a signal from a logic block (a switch) and a feedback signal from a summing junction.

State machines

A state machine diagram for gear shifting logic. It includes states like 'SteadyState', 'preUpShifting', and 'UpShifting'. Transitions are triggered by conditions such as 'speed > up_th' and 'GearState <= 5 && floor(GearState) == GearState'. Actions like 'clutchControl=1;' and 'shiftComplete=1' are performed during transitions.

Code

A code editor showing a Simscape model file named 'spring.ssc'. The file contains the following code:

```

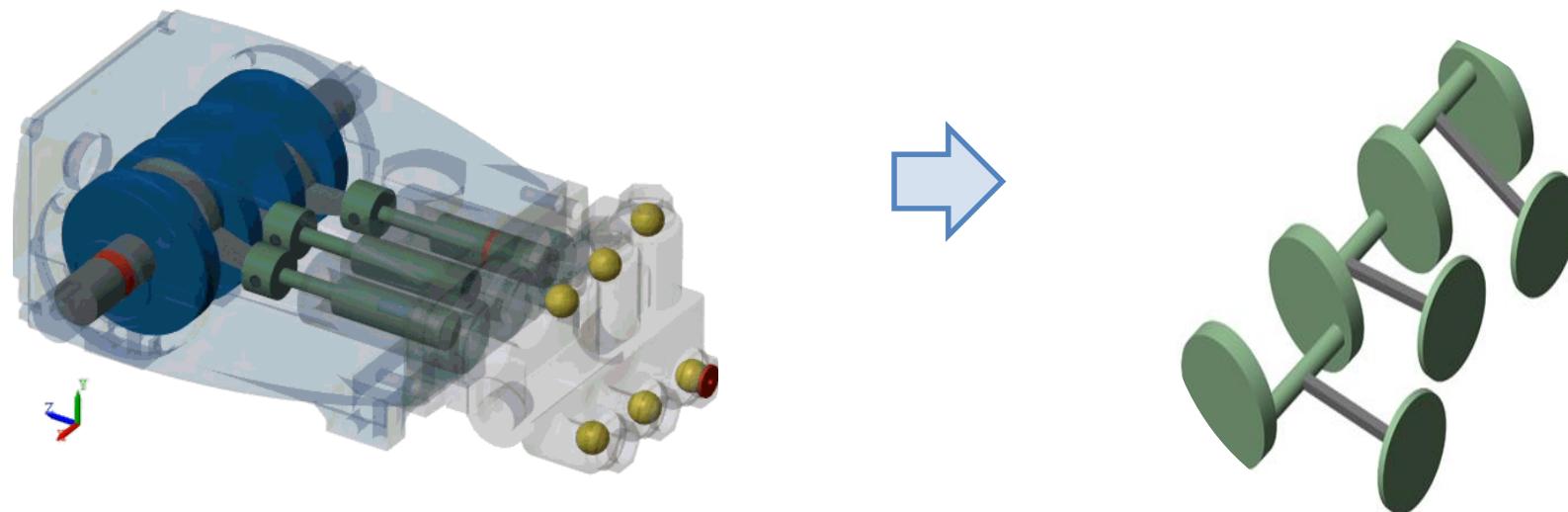
equations
    v == x.der;
    f == spr_rate * x;
end

```

The code defines a spring element with a rate of spr_rate and a position of x, with its derivative v and force f.

Simscape™による物理モデル構築

ピストンポンプ

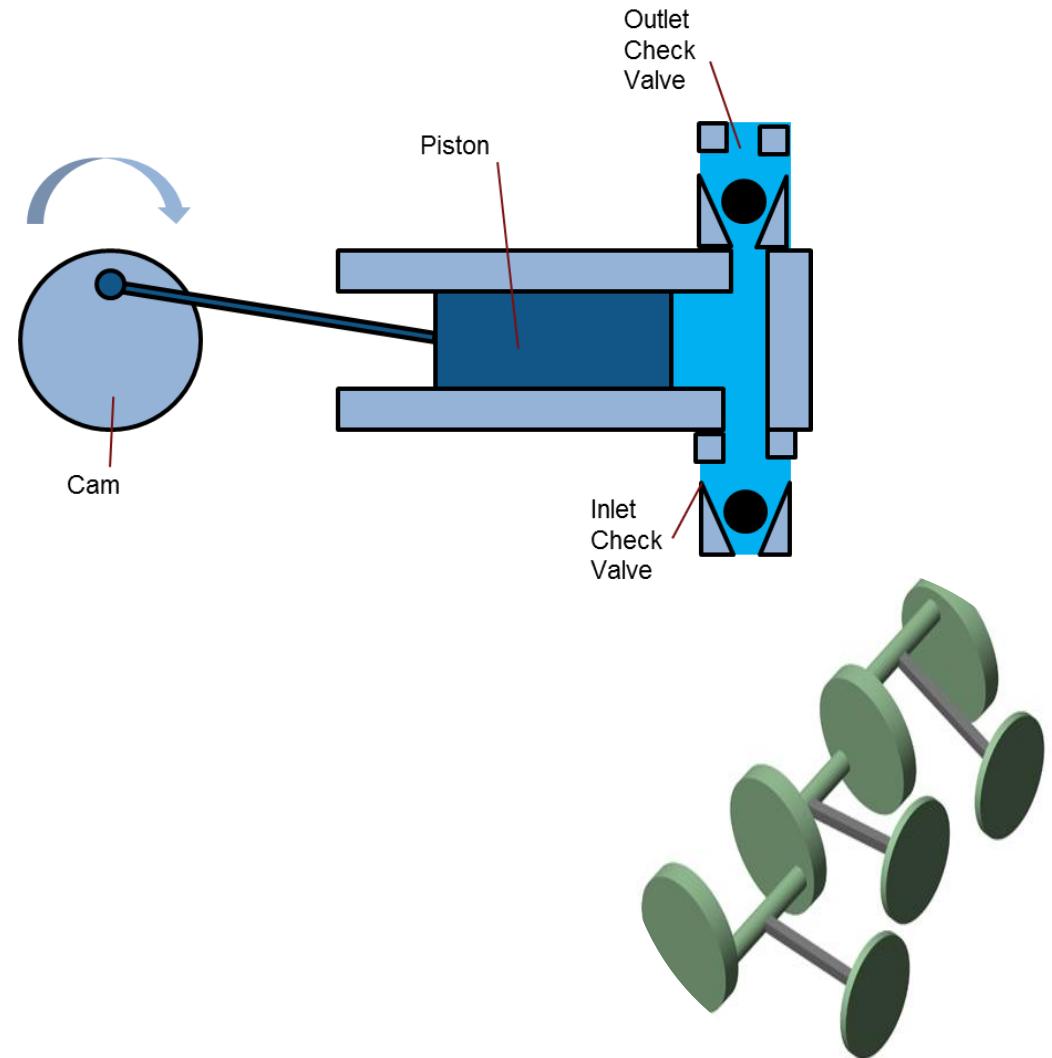


Demo: Model-driven アプローチ

ピストンポンプの物理モデル作成

実装済み劣化モード

- ・ ラインからの漏れ CylinderLeak
- ・ ラインの目詰まり CloggedLine
- ・ モータの劣化 ElectricMotorDecline
- ・ ベアリング劣化 BearingLubrication



ゴール

- ・ 劣化箇所を特定する予測モデルを作成
 - 異常検知 & 原因診断

データ収集のアプローチ

物理法則に基づく方法



Model-driven 物理モデルベース

- 物理的な関係からモデル作成
- 専門・業界知識の活用
- 計測しにくいデータなどを補完
- 高精度の予測モデルへの寄与

実験データに基づく方法



Data-driven センサーデータベース

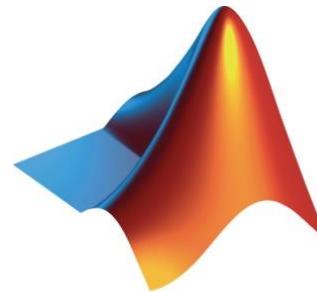
- 機器から得られるデータを使用
- 多変量解析・機械学習など統計的手法を用いて予測モデルを作成

異常検知・予知保全関連資料のご案内

- デジタルツインとは？これだけは知っておきたい3つのこと
- MATLAB/Simulinkによる予知保全ビデオシリーズ
- 実例に学ぶ予知保全向けデータ活用
- 30日無料の評価版を試す jp.mathworks.com/trial
- 製品、サービスのお見積もり jp.mathworks.com/quote
- お問合せ jp.mathworks.com/contact

ご紹介製品

- MATLAB®
- Simscape™
- Statistics and Machine Learning Toolbox™



MathWorks®

Accelerating the pace of engineering and science

© 2020 The MathWorks, Inc. MATLAB and Simulink are registered trademarks of The MathWorks, Inc. See www.mathworks.com/trademarks for a list of additional trademarks. Other product or brand names may be trademarks or registered trademarks of their respective holders.