

# パイロット勤務スケジュール自動作成システムの実装

M2011MM019 菱田健斗

指導教員：鈴木敦夫

## 1 はじめに

本研究では、オペレーションズ・リサーチ（以下、OR）の手法を用いて、パイロット勤務スケジュールリング問題に対し汎用的なモデルを与える。そして、このモデルを基に、パイロットの勤務スケジュールを自動的に且つ短時間で作成することができるシステムをコンピュータ（以下、PC）上に実装する。また、日本に実在する地域航空会社（以下、RA）を対象にパイロット勤務スケジュールリング問題を適用し、対象 RA の実データを用いることで、本研究におけるモデルとシステムの有用性を示す。

一般に、航空機、鉄道、路線バス乗務員や医療機関従事者、商業店舗従業員等の勤務スケジュール作成作業は担当者の手作業で行われることが多く、考慮すべきあらゆる制約を充足するようなスケジュールを作成することは、非常に長い時間と多大な手間の掛かる困難な作業となっている。そのため、南山大学ではこのような現状に焦点を当て、[2]のようにPC上でスケジュール作成作業を支援するシステムについての様々な研究が幾年にも渡って行われている。しかし、システムの現場での導入に対しては、スケジュール作成担当者の経験や勘、癖などの人間的側面と、OR・PCの数理的・機械的側面の隔たりによる相互性や機能性の不足等により、依然として多くの課題を残す結果となっている。

そこで、本研究では、「現場で求められるシステム」とは「スケジュール作成担当者の意図を十分に反映することができる柔軟な相互性や操作性を持ったシステム」とであると定義し、このような特性を実現するモデルの構築及びシステムの実装を目指す。

## 2 パイロット勤務スケジュールリング問題

### 2.1 問題の定義

パイロット勤務スケジュールリング問題とは、スケジュールを作成する対象となるパイロットの地位及び年齢等の属性や規定の休暇数の確保、スケジュールの公平性等の様々な制約を考慮し、発行されている各運航ダイヤに対し必要なパイロットを過不足なく割り当て、パイロット全体のスケジュールを作成する問題である。

### 2.2 問題に対するアプローチ

#### 2.2.1 モデル

パイロット勤務スケジュールリング問題に対しては、0-1整数計画問題である集合分割問題としてのモデル化が一般的である [3]。これは、まず、スケジュールの構成要素となる運航ダイヤや休暇等の勤務を複数組み合わせで構成された実現可能なヶ月間等の長期間分の勤務パターンを列挙する。そして、この中から全ての運航ダイヤが過不足なく被覆される最適な勤務パターンを各パイロットに対し割り当てるモデルである。このモデルでは、組

み合わせる勤務の発着空港の一致性による接続等の“横の制約”を充足した勤務パターンをあらかじめ列挙しておくことで、最適化計算処理において、勤務パターンを割り当てるパイロットの組み合わせ等の“縦の制約”のみを考慮した割り当てを行えばよい。そのため、モデルの実行が容易になる利点がある。一方、あらかじめ列挙した勤務パターンを割り当てるため、各パイロットが希望する勤務の実現や、スケジュールの急な変更等に対する脆弱性を排除できない欠点がある。

よって、本研究では、先述のモデルの欠点を考慮し、新たに以下のモデルを提案する。

本研究では、まず、スケジュールの構成要素となる運航ダイヤのみを複数組み合わせで構成された実現可能な一日分の運航パターンを列挙し、この中からあらかじめ全ての運航ダイヤが過不足なく被覆される運航パターンを選定する。そして、選定された運航パターンを休暇などと共に一日分の勤務として設定し、これらを各パイロットに対し一日毎に逐次個別に割り当てる。ただし、このモデルでは、最適化計算処理において、各パイロットに対し連日で割り当てる勤務同士の発着空港の一致性による接続等の“横の制約”、及び勤務を割り当てるパイロットの組み合わせ等の“縦の制約”を同時に考慮しなければならない。そのため、モデルの実行が困難になる欠点がある。一方、勤務の割り当てを細分化することで、各パイロットが希望する勤務の実現や、スケジュールの急な変更等に対する高い柔軟性を保持できる利点があるため、先述で定義した「現場で求められるシステム」を実現するモデルとして適したものであると言える。

#### 2.2.2 解法

一般に、パイロット勤務スケジュールリング問題は大規模且つ複雑な問題となるため、厳密解法を用いて与えられた制約を充足する最適解を多項式時間内に得ることが困難な場合は、[1]のような近似解法が用いられる。

しかし、本研究では、近似解法により作成されたスケジュールの妥協点の発生を考慮し、厳密解法により各制約を厳密に充足する最適解を得る解法を提案する。よって、これにより、スケジュール作成担当者にとって好ましいスケジュールの作成を行なう。

## 3 対象RAに対するパイロット勤務スケジュールリング問題

### 3.1 対象RAに対する問題の適用

#### 3.1.1 スケジュール作成対象となるパイロット

対象RAの協力により実データの提供を受けた2012年1月現在、同社には計67名のパイロットが在籍している。また、各パイロットは、対象RAが設定している国内2ヶ所の基地空港を拠点に日々の勤務を行なっている。

### 3.1.2 スケジュール作成対象となる勤務

スケジュールを作成対象となる各パイロットに割り当てる勤務には、主に、乗務、スタンバイ、必要業務、休暇、地上業務の5種類ある。乗務とは、発行された運航ダイヤを複数組み合わせることで作成された一日分の運航パターンに従い、実際に航空機を操縦して乗客を目的地まで輸送する業務のことである。スタンバイとは、各運航パターンに対し乗務予定であったパイロットが体調不良等で万が一乗務不可能となった場合に、その代理として乗務を行なうことができるよう待機しておく業務のことである。必要業務とは、訓練や審査等各パイロットが必ず消化しなければならない業務のことである。休暇とは、規定に従い各パイロットに対し一律に付与される休日のことである。地上業務とは、スケジュール作成上の制約により先述の4つの業務のいずれも割り当てられない場合に発生するダミー的な要素を持つ業務のことである。

### 3.1.3 スケジュール作成上の制約

各乗務に対し、2名のパイロットを割り当てる。ただし、地位が副機長同士、年齢が60歳以上同士、総乗務経験時間が100時間未満同士のパイロットの組み合わせによる乗務への割り当てを禁止する。各パイロットに対し、休暇はヶ月間における規定数を割り当て、連続する7日間のうち1日以上割り当てを守る。各日にちのスタンバイに対し、3名のパイロットを割り当てる。各パイロットに対し、一日2種類以上の勤務は割り当てず、所属する基地空港を考慮した唯一の勤務を割り当てる。連続する24時間のうち、着陸は7回、乗務は8時間、勤務は14時間以内に収め、この制約を満たせない場合は勤務間に12時間以上の休養を与える。ただし、基本は10時間以上とする。ヶ月間の総乗務時間や業務上発生する総宿泊数等を考慮し、スケジュールの公平性を保つ。勤務間にデッドヘッド等の許容し難い業務が発生することや、休養時間の制約を満たさない勤務同士の連日の割り当てを避ける。各パイロットに対し、あらかじめ希望する勤務や、必ず割り当てなければならない必要業務を反映する。

## 3.2 対象RAに対するアプローチの適用

### 3.2.1 モデル

#### 記号の定義

##### 添字

$I$ : パイロットの集合 ( $I = I^o \cup I^d$ )

$I^o$ : 対象パイロットの集合 ( $I^o \subset I$ )

$I^d$ : ダミーパイロットの集合 ( $I^d \subset I$ )

$C$ : パイロットの地位の集合

$C = \{1, 2\}$ , 1: 機長, 2: 副機長

$A$ : パイロットの年齢の集合

$A = \{1, 2\}$ , 1: 60歳未満, 2: 60歳以上

$H$ : パイロットの総乗務経験時間の集合

$H = \{1, 2\}$ , 1: 100時間以上, 2: 100時間未満

$M$ : 対象前月の集合

$M = \{1, 2, \dots, 12\}$

$N$ : 対象月の集合

$N = \{1, 2, \dots, 12\}$

$D$ : 対象日の集合 ( $D = D_m \cup D_n$ )

$D_m$ : 対象前月最終7日間の対象日の集合 ( $D_m \subset D$ )

$D_m = \{d_m - 6, d_m - 5, \dots, d_m\}$

$$d_m = \begin{cases} 31, m \in \{1, 3, 5, 7, 8, 10, 12\} \subset M \\ 30, m \in \{4, 6, 9, 11\} \subset M \\ 28, m \in \{2\} \subset M \\ 29, m \in \{2 \mid \text{閏年}\} \subset M \end{cases}$$

$D_n$ : 対象月の対象日の集合 ( $D_n \subset D$ )

$D_n = \{1, 2, \dots, d_n\}$

$$d_n = \begin{cases} 31, n \in \{1, 3, 5, 7, 8, 10, 12\} \subset N \\ 30, n \in \{4, 6, 9, 11\} \subset N \\ 28, n \in \{2\} \subset N \\ 29, n \in \{2 \mid \text{閏年}\} \subset N \end{cases}$$

$W$ : 勤務の集合 ( $W = W^b \cup W^s \cup W^{\text{off}} \cup W^{\text{sb}} \cup W^{\text{ev}} \cup W^g$ )

$W^b$ : 宿泊を伴わない乗務の集合 ( $W^b \subset W$ )

$W^s$ : 宿泊を伴う乗務の集合 ( $W^s \subset W$ )

$W^{\text{off}}$ : 休暇の集合 ( $W^{\text{off}} \subset W$ )

$W^{\text{sb}}$ : スタンバイの集合 ( $W^{\text{sb}} \subset W$ )

$W^{\text{ev}}$ : 必要業務の集合 ( $W^{\text{ev}} \subset W$ )

$W^g$ : 地上業務の集合 ( $W^g \subset W$ )

定数

$$p_{ic} = \begin{cases} 1: \text{パイロット } i \in I \text{ の地位が } c \in C \text{ である時} \\ 0: \text{上記以外} \end{cases}$$

$$q_{ia} = \begin{cases} 1: \text{パイロット } i \in I \text{ の年齢が } a \in A \text{ である時} \\ 0: \text{上記以外} \end{cases}$$

$$r_{ih} = \begin{cases} 1: \text{パイロット } i \in I \text{ の} \\ \quad \text{総乗務経験時間が } h \in H \text{ である時} \\ 0: \text{上記以外} \end{cases}$$

$$\alpha_{dw} = \begin{cases} 1: \text{対象日 } d \in D_n \text{ に} \\ \quad \text{勤務 } w \in W \text{ が割り当て可能である時} \\ 0: \text{上記以外} \end{cases}$$

$$\beta_{iw} = \begin{cases} 1: \text{パイロット } i \in I \text{ に} \\ \quad \text{勤務 } w \in W \text{ が割り当て可能である時} \\ 0: \text{上記以外} \end{cases}$$

$$\gamma_{ww'} = \begin{cases} 1: \text{勤務 } w \in W \text{ と勤務 } w' \in W \text{ の} \\ \quad \text{連日の割り当てを許容しない時} \\ 0: \text{上記以外} \end{cases}$$

$$F_{idw} = \begin{cases} 1: \text{パイロット } i \in I^o \text{ の対象日 } d \in D \text{ に} \\ \quad \text{勤務 } w \in W \text{ が確定している時} \\ 0: \text{上記以外} \end{cases}$$

$t_w$ : 勤務  $w \in W^b \cup W^s$  の乗務時間

$O_{ni}$ : 対象月  $n \in N$  における,

パイロット  $i \in I^o$  に割り当てる規定休暇数

$T_n^\pm$ : 対象月  $n \in N$  における,

対象パイロット全体に対する

総乗務時間の最大値と最小値の差上下限值

$J_n^\pm$ : 対象月  $n \in N$  における, 各対象パイロットに対する  
総乗務数上下限值

$B_n^\pm$ : 対象月  $n \in N$  における,  
各対象パイロットに対する総スタンバイ数上下限值

$G_n^\pm$ : 対象月  $n \in N$  における,  
各対象パイロットに対する総地上業務数上下限值

$S_n^\pm$ : 対象月  $n \in N$  における,  
各対象パイロットに対する総宿泊数上下限值

決定変数

$$x_{idw} = \begin{cases} 1: \text{パイロット } i \in I \text{ の対象日 } d \in D \text{ に} \\ \text{勤務 } w \in W \text{ を割り当てる時} \\ 0: \text{上記以外} \end{cases}$$

$y_n^{T^\pm}$ : 対象月  $n \in N$  における,  
対象パイロット全体に対する  
総乗務時間の最大値と最小値の差上下限值超過値

$y_{ni}^{J^\pm}$ : 対象月  $n \in N$  における,  
パイロット  $i \in I^\circ$  に対する総乗務数上下限值超過値

$y_{ni}^{B^\pm}$ : 対象月  $n \in N$  における,  
パイロット  $i \in I^\circ$  に対する  
総スタンバイ数上下限值超過値

$y_{ni}^{G^\pm}$ : 対象月  $n \in N$  における,  
パイロット  $i \in I^\circ$  に対する  
総地上業務数上下限值超過値

$y_{ni}^{S^\pm}$ : 対象月  $n \in N$  における,  
パイロット  $i \in I^\circ$  に対する総宿泊数上下限值超過値

定式化

目的関数

$$\sum_{i \in I^d} \sum_{d \in D_n} \sum_{w \in W} x_{idw} + y_n^{T^\pm} + \sum_{i \in I^\circ} (y_{ni}^{J^\pm} + y_{ni}^{B^\pm} + y_{ni}^{G^\pm} + y_{ni}^{S^\pm}) \rightarrow \text{minimize} \quad (1)$$

制約式

$$x_{idw} = F_{idw} \quad (i \in I^\circ, d \in D_m, w \in W) \quad (2)$$

$$x_{idw} \geq F_{idw} \quad (i \in I^\circ, d \in D_n, w \in W \setminus W^{ev}) \quad (3)$$

$$x_{idw} = F_{idw} \quad (i \in I^\circ, d \in D_n, w \in W^{ev}) \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} x_{idw} = 2 \times \alpha_{dw} \quad (d \in D_n, w \in W^b \cup W^s) \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} p_{i2} x_{idw} \leq 1 \quad (d \in D_n, w \in W^b \cup W^s) \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} q_{i2} x_{idw} \leq 1 \quad (d \in D_n, w \in W^b \cup W^s) \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} r_{i2} x_{idw} \leq 1 \quad (d \in D_n, w \in W^b \cup W^s) \quad (8)$$

$$\sum_{w \in W} \beta_{iw} x_{idw} = 1 \quad (i \in I^\circ, d \in D_n) \quad (9)$$

$$\sum_{w \in W} \beta_{iw} x_{idw} \leq 1 \quad (i \in I^d, d \in D_n) \quad (10)$$

$$x_{idw} \leq \beta_{iw} \quad (i \in I, d \in D_n, w \in W) \quad (11)$$

$$\sum_{d \in D_n} \sum_{w \in W^{off}} x_{idw} = O_{ni} \quad (i \in I^\circ) \quad (12)$$

$$\sum_{d'=d}^{d+6} \sum_{w \in W^{off}} x_{id'w} \geq 1 \quad (i \in I^\circ, d \in D \setminus \{d_n - 5, d_n - 4, \dots, d_n\}) \quad (13)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{w \in W^{sb}} x_{idw} = 3 \quad (d \in D_n) \quad (14)$$

$$T_n^- - y_n^{T^-} \leq \max_{i \in I^\circ} \sum_{d \in D_n} \sum_{w \in W^b \cup W^s} t_w x_{idw} - \min_{i \in I^\circ} \sum_{d \in D_n} \sum_{w \in W^b \cup W^s} t_w x_{idw} \leq T_n^+ + y_n^{T^+} \quad (15)$$

$$J_n^- - y_{ni}^{J^-} \leq \sum_{d \in D_n} \sum_{w \in W^b \cup W^s} x_{idw} \leq J_n^+ + y_{ni}^{J^+} \quad (i \in I^\circ) \quad (16)$$

$$B_n^- - y_{ni}^{B^-} \leq \sum_{d \in D_n} \sum_{w \in W^{sb}} x_{idw} \leq B_n^+ + y_{ni}^{B^+} \quad (i \in I^\circ) \quad (17)$$

$$G_n^- - y_{ni}^{G^-} \leq \sum_{d \in D_n} \sum_{w \in W^g} x_{idw} \leq G_n^+ + y_{ni}^{G^+} \quad (i \in I^\circ) \quad (18)$$

$$S_n^- - y_{ni}^{S^-} \leq \sum_{d \in D_n} \sum_{w \in W^s} x_{idw} \leq S_n^+ + y_{ni}^{S^+} \quad (i \in I^\circ) \quad (19)$$

$$x_{idw} + x_{i,d+1,w'} \leq 2 - \gamma_{ww'} \quad (i \in I^\circ, d \in D \setminus \{d_m - 6, d_m - 5, \dots, d_m - 1, d_n\}, w \in W, w' \in W) \quad (20)$$

$$x_{idw} \in \{0, 1\} \quad (i \in I, d \in D, w \in W) \quad (21)$$

$$y_n^{T^\pm}, y_{ni}^{J^\pm}, y_{ni}^{B^\pm}, y_{ni}^{G^\pm}, y_{ni}^{S^\pm} \geq 0 \quad (i \in I^\circ) \quad (22)$$

各式の説明

式(1)は, 対象月一ヶ月間に, ダミーパイロットに対し割り当てられる総勤務数及び, スケジュールの公平性を定義する式(15)(16)(17)(18)(19)における各上下限値の総超過値を同時に最小化する目的関数である. 式(2)は, 対象前月最終7日間の各対象日において, 各対象パイロットに対し割り当てられている勤務を引き継ぐための制約式である. 式(3)(4)は, 対象月の各対象日において, 各対象パイロットに対し必要業務以外で確定している勤務を割り当てる制約式及び, 必要業務を割り当てる制約式である. 式(5)(6)(7)(8)は, 対象月の各対象日における各乗務に対し, 2名のパイロットを割り当てる制約式及び, 地位が副機長同士, 年齢が60歳以上同士, 総乗務経験時間が100時間未満同士のパイロットの組み合わせによる乗務への割り当てを禁止する制約式である. 式(9)(10)(11)は, 対象月の各対象日において, 各対象パイロットに対し割り当て可能な唯一の勤務を割り当てる制約式及び, 各ダミーパイロットに対し割り当て可能な一つ以下の勤務を割り当てる制約式, 各パイロットに対し割り当て不可能な勤務を割り当てない制約式である. 式(12)(13)は, 対象月において, 各対象パイロットに対し規定数の休暇を割り当てる制約式及び, 対象前月における休暇の割り当てを考慮すると共に連続する7日間のうち1日以上

暇を割り当てる制約式である。式 (14) は、対象月の各対象日におけるスタンバイに対し、3名のパイロットを割り当てる制約式である。式 (15)(16)(17)(18)(19) は、対象月一ヶ月間において、対象パイロット全体に対し総乗務時間の最大値と最小値の差を、また、各対象パイロットに対し総乗務数、総スタンバイ数、総地上業務数、総宿泊数を以てスケジュールを公平化する制約式である。式 (20) は、対象月の各対象日において、当日とその前日に各対象パイロットに対し連日の割り当てを許容しない勤務同士の割り当てを禁止する制約式である。式 (21)(22) は、各決定変数のバイナリ制約式及び非負制約式である。

ここで、新たに以下の決定変数を追加し、式 (15) を等価な役割を持つ以下の制約式群に変更することで、非線形モデルを線形モデルへ変換する。

決定変数

$T_n^{\min}$  : 対象月  $n \in N$  における、

対象パイロット全体に対する総乗務時間最小値

$T_n^{\max}$  : 対象月  $n \in N$  における、

対象パイロット全体に対する総乗務時間最大値

制約式

$$T_n^- - y_n^{T-} \leq T_n^{\max} - T_n^{\min} \leq T_n^+ + y_n^{T+} \quad (23)$$

$$\sum_{d \in D_n} \sum_{w \in W^b \cup W^s} t_w x_{idw} \geq T_n^{\min} \quad (i \in I^o) \quad (24)$$

$$\sum_{d \in D_n} \sum_{w \in W^b \cup W^s} t_w x_{idw} \leq T_n^{\max} \quad (i \in I^o) \quad (25)$$

$$T_n^{\min}, T_n^{\max} \geq 0 \quad (26)$$

各式の説明

式 (23) は、式 (15) と等価な意味を持つ制約式である。式 (24)(25) は、対象月一ヶ月間において、対象パイロット全体の乗務時間の最小値及び最大値を制御する制約式である。式 (26) は、各決定変数の非負制約式である。

尚、本モデルにおいて、 $m \in M$  及び  $n \in N$  は、 $m = (n - 1 \mid n \geq 2) \vee (12 \mid n = 1)$  の関係により与えられる。

### 3.2.2 実行結果

対象 RA から提供を受けた実データを用い、計 67 名のパイロットに対し 3.2.1 で示したモデルを厳密解法によって解くことで、実際に 2012 年 1 月の 31 日間分のスケジュールを作成する。ただし、年始特別便等に対する変則勤務は考慮せず、スケジュールの公平性を定義する各値については対象 RA に対する現実的なものを設定する。また、モデルの実行に使用した最適化計算処理ソフトウェアは、IBM<sup>1</sup> ILOG<sup>1</sup> CPLEX<sup>1</sup> Optimization Studio 12.4 (以下、CPLEX)、計算機環境は、OS が Microsoft<sup>2</sup> Windows XP<sup>2</sup>、CPU が Intel<sup>3</sup> Core2 Duo<sup>3</sup> E8400 3.33GHz、メモリが 3GB である。

この問題は、CPLEX での最適化計算処理上必要となる決定変数や制約式を含め、総決定変数数 112,309 及び総制約式数 1,078,267 としてモデル化され、モデルの生成から最適解を取得するまでに約 33 秒程度の時間を要した。また、この際、目的関数値は 0 となり、スケジュール作成対象となるパイロットのみで全ての制約を充足し、且つ実現可能なスケジュールを作成することができた。

## 4 パイロット勤務スケジュール自動作成システムの概要と実装

本研究におけるパイロット勤務スケジュール自動作成システムは、あらゆるスケジュール管理の現場において一般的に使用される表計算ソフトウェアである Excel<sup>2</sup> をベースに、データ処理には VBA<sup>2</sup> プログラムを、最適化計算処理には CPLEX を用い、Excel 上のマウス操作及び極少量のキーボード操作のみで全ての作業を自動的に且つ短時間で完了することができるよう、PC 上に実装した。

特に、本システムには、先述で定義した「現場で求められるシステム」を実現するための多くの機能を搭載した。例えば、自動作成したスケジュールの逐次修正を可能にし、その都度最適化計算処理とスケジュールの自動作成を行うことで、システムの相互性を向上させた。また、用途別に Excel ブックを分割することで作業内容を明確化し、その中で、最適化計算処理の開始からスケジュールの自動作成までを一度で完了するボタン等を作業手順に従って配置することや、あらゆる場面での入力作業を補助するボックスを配置した。さらに、スケジュール作成対象となるパイロットや勤務の数及び属性の変更時に、自動的に各 Excel ブック上のインターフェースを修正する機能を付加することで、システムの操作性を向上させた。

本システムは、最適化計算処理の開始からスケジュールの自動作成までを約 1 分弱程度で完了することができるため、スケジュール作成担当者が時間的不満を持つことなく使用することができる十分な総処理速度を実現していると考えられる。これより、本研究におけるモデル及びシステムは、パイロットの勤務スケジュール作成現場において、非常に高い有用性を発揮することが期待される。

## 5 おわりに

今後は、本研究におけるモデル及びシステムを基に、あらゆる乗務員スケジューリング問題及びスケジュール作成現場に対する応用可能性を強化することが課題である。

## 参考文献

- [1] Ralf Borndörfer, Uwe Schelten, Thomas Schlechte, Steffen Weider: "A Column Generation Approach to Airline Crew Scheduling", *Operations Research Proceedings*, Volume.2005, p343-348, 2006.
- [2] 伊東尚美:「実用的なシフトスケジューリングシステムの試作」, 南山大学大学院数理情報研究科 2009 年度修士論文, 2010.
- [3] 田島玲:「パイロットの乗務パターン最適化」, 杉原厚吉, 茨木俊秀, 浅野孝夫, 山下雅史 (編), 『アルゴリズム工学-計算困難問題への挑戦-』, p266-267, 共立出版, 東京, 2001.

<sup>1</sup>IBM, ILOG, CPLEX は、IBM Corporation の米国及びその他の国における登録商標です。

<sup>2</sup>Microsoft, Windows XP, Excel, VBA は、米国 Microsoft Corporation の米国及びその他の国における登録商標です。

<sup>3</sup>Intel, Core2 Duo は、Intel Corporation または子会社の米国及びその他の国における登録商標です。