

第10章

重量と重心位置

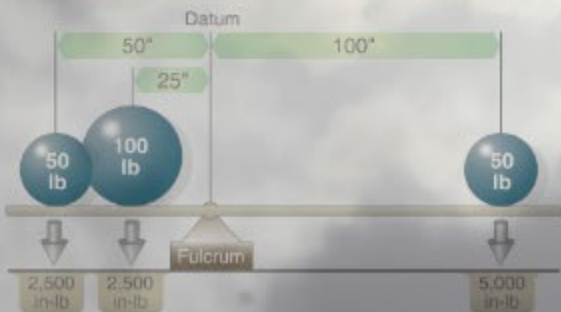
序論

航空機の重量と重心位置の制限を遵守することは、飛行の安全性にとって重要である。最大重量制限を超えて操作すると、航空機の構造的完全性が損なわれ、航空機の性能に悪影響が及ぶ。重心（CG）が承認された制限の範囲外で操作すると、制御が困難になる。

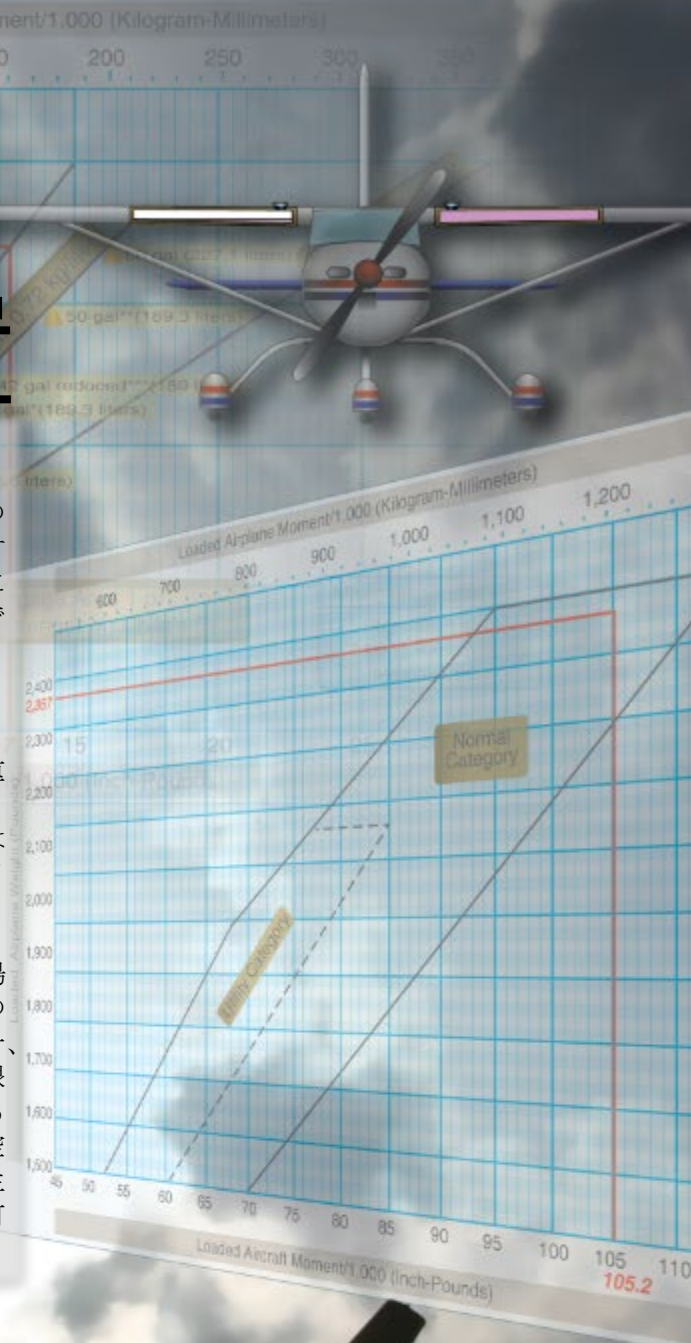
ウェイト・コントロール

第5章「飛行の航空力学」で説明したように、重量は、重力が物体を地球の中心に引き付ける力である。それは、物体の質量と物体に作用する加速度の積である。重量は航空機の製造と運用の主要な要因であり、すべてのパイロットは敬意を払う必要がある。

重力は継続的に航空機を地面に引き下ろそうとする。揚力は、重量を打ち消し、飛行中の航空機を支える唯一の力である。翼によって生成される揚力の量は、翼の設計、迎え角（AOA）、対気速度、および空気密度によって制限される。生成された揚力が重量に対抗するのに十分であることを保証するために、メーカーの推奨重量を超えて航空機に負荷をかけないようにしなければならない。重量が生成された揚力よりも大きい場合、航空機は飛行できない可能性がある。



$$\begin{aligned} \text{Wt} \times \text{Arm} &= \text{Moment} & 100 \times 25 &= 2,500 \\ (\text{lb}) \times (\text{in}) &= (\text{in-lb}) & 50 \times 50 &= 2,500 \\ & & \text{Total} &= 5,000 \end{aligned}$$



重量の影響

航空機に搭載すると総重量を増加させるアイテムは、性能上望ましくない。製造業者は、強度や安全性を損ねないように、できるだけ軽量にすることを試みている。

パイロットは、過積載の結果を常に認識しているべきである。過積載状態の航空機は、離陸できない場合があり、飛行できても、予期しない異常に劣悪な飛行特性を示す場合がある。適切に積載されていない場合、通常、離陸時に性能の低下が最初に示される。

過度の重量は、ほぼすべての点で飛行性能を低下させる。たとえば、過積載の航空機の最も重要な性能の欠如は次のとおりである：

- 離陸速度の増加
- 離陸滑走距離の超過
- 上昇率と上昇角度の減少
- 最大高度の低下
- 航続距離の減少
- 巡航速度の低下
- 操作性の低下
- 失速速度の増加
- 進入と着陸速度の増加
- ランディング滑走路長の超過
- 前輪または後輪にかかる過度の重量

パイロットは、飛行する特定の航空機の性能に対する重量の影響を熟知していなければならない。飛行前の計画には、性能チャートのチェックを含めて、航空機の重量が危険な飛行操作に寄与するかどうかを判断する必要がある。重量が大きすぎると、パイロットが利用できる安全マージンが減少し、他の性能低下要因と重量が重なるとさらに危険になる。パイロットは、緊急事態が発生した場合に、重量超過の航空機の結果も考慮しなければならない。離陸時にエンジンが故障したり、低空で機体に着氷した場合、通常、航空機の重量を減らして飛行を保つには遅すぎる。

重量の変化

航空機の運航重量は、燃料負荷を変更するだけで変更できる。ガソリンの重量はかなり重く、ガロンあたり6ポンドである。30ガロンの燃料は、複数の乗客の体重に匹敵する場合がある。パイロットが燃料を減らすことで飛行機の重量を減らす場合、その結果生じる飛行機の航続距離の減少を飛行計画の際に考慮しなければならない。通常、飛行中に起こるのは燃料の燃焼だけである。燃料が使用されると、航空機は軽量になり、性能が向上する。

固定機器の変更は、航空機の重量に大きな影響を及ぼす。必要以上の無線機や機器の設置、修理や改造も、航空機の重量に影響を与える可能性がある。

バランス、安定性、重心

バランスとは、航空機のCGの位置を指し、飛行中の安定性と安全性にとって重要である。CGは、航空機がそのポイントで中断された場合にバランスを取るポイントである。

航空機のバランスを取る際の主な関心事は、縦軸に沿ったCGの前後の位置である。CGは必ずしも固定点ではない。その場所は、航空機内の重量の配分によって決まる。可変負荷項目が変更または消費されると、結果としてCGが変わる。メーカーが重心またはCG範囲の中心の位置の前後の制限間の距離を航空機に対して定めている。パイロットは、CGが縦軸上で前方に移動しすぎると、機首が重い状態になることを理解する必要がある。逆に、CGが縦軸の後方に移動しすぎると、尾部が重い状態になる。CGの位置が不安定な状態になった場合、パイロットが航空機を制御できない可能性がある。[図 10-1]

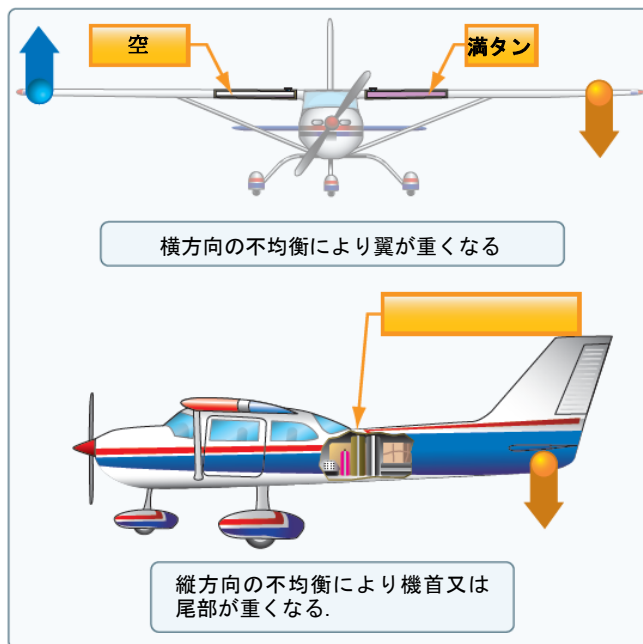


図 10-1. 横方向および縦方向の不均衡

横軸を基準としたCGの位置も重要である。胴体中心線の左側にある重量の各アイテムについては、右側の対応する位置に等しい重量が存在する。これは、不均衡な横方向の荷重によって不安定になる場合がある。横方向CGの位置はすべての航空機で計算されるわけではない、パイロットは横方向に不均衡な状態の結果として悪影響が生じることに注意する必要がある。飛行機では、飛行機の片側のタンクからエンジンに不均等に燃料を供給することにより、燃料負荷が誤って管理されると、横方向の不均衡が発生する。パイロットは、トリムを調整するか、一定の制御圧力を保持することにより、結果として生じる翼が重い状態を補正できる。この行動により、航空機の制御装置が流線から外れた状態になり、抗力が増加し、運用効率が低下する。横方向のバランスは、航空機の飛行マニュアル (AFM) で必要に応じて扱われており、縦方向のバランスがより重要であるため、このハンドブックでバランスをさらに参照することは、CGの縦方向の位置を意味する。

バランスが崩れた航空機を飛行させると、パイロットの疲労が増大し、飛行の安全性と効率に明らかな影響を与える可能性がある。縦方向の不均衡に対するパイロットの自然な修正は、過剰な制御圧力を取り除くためのトリムの変更である。しかし、過剰なトリムは、空力効率だけでなく、トリムが適用される方向の主制御の移動距離も減少させる効果がある。

逆バランスの影響

バランスの悪い状態は、超過重量状態について述べたのとほぼ同じ方法で飛行特性に影響する。すべての航空機に設定された重量と重心位置の制限に従うことが

重要である。最大重量制限を超えて操作すると、航空機の構造的完全性が損なわれ、性能に悪影響を及ぼす可能性がある。安定性と制御も不適切なバランスの影響を受ける。

安定

機首が重い状態での積み込みは、特に離陸および着陸中に機首を制御および持ち上げる際に問題を引き起こす。尾部が重い状態での荷重は、縦方向の安定性に重大な影響を与え、失速やスピンから回復する能力を低下させる。尾部の重い負荷は、非常に軽い制御力も生成する。これは別の望ましくない特性である。これにより、パイロットが誤って航空機に過度のストレスをかけやすくなる。

安定性と重心

メーカーはCGの場所の制限を設けている。これらは、飛行中にCGがあるべきではない前後の制限である。これらの制限は、型式証明書データシート (TCDS)、または航空機の仕様とAFMまたはパイロットの操作ハンドブック (POH) で各航空機について公開されている。

積み込み後にCGが許容限度内にない場合、飛行を試みる前にいくつかのアイテムを再配置する必要がある。

前方CG制限は、多くの場合、航空機の着陸特性によって決定される場所で確立される。着陸中、飛行の最も重要な段階の1つであり、前方CG制限を超えると、前輪に過剰な負荷がかかり、後輪タイプの飛行機で前傾する傾向があり、性能が低下し、失速速度が大きくなり、制御力が大きくなる。

制御

極端な場合、CGの位置が前方の制限を超えていると、機首が重くなり、着陸のためにフレアすることが困難または不可能になる場合がある。メーカーは、着陸時の損傷を避けられるようにパイロットを支援するために、意図的に前方CG制限を可能な限り後方に配置する。静的および動的な縦方向の安定性の低下に加えて、許容範囲の後方のCG位置に起因するその他の望ましくない効果には、極端な制御の困難性、激しい失速特性、および航空機に不注意に過度のストレスをかけやすくする非常に軽い制御力が含まれる。

制限された前方CG制限も指定されており、最小の対気速度で十分な昇降/制御偏向が利用可能になる。構造上の制限が前方CGの位置を制限しない場合、着陸に向けて高いAOAを得るためにフルアップの昇降舵制御偏向が必要な位置にある。

後部CG制限は、最も重要な操縦または操作のためにCGを配置できる最も後方の位置である。CGが後方に移動すると、不安定な状態が発生し、操縦または乱気流後の航空機の直進能力が低下する。

一部の航空機では、総重量の変化に応じて変動するように、前後のCG制限の両方を指定できる。これらは、アクロバティックな飛行、着陸装置の格納、または飛行特性を変更する特別な負荷と装置の設置など、特定の操作のために変更される場合もある。

CGの実際の位置は、さまざまな要因によって変更される可能性があり、通常はパイロットによって制御される。手荷物と貨物の配置により、CGの位置が決まる。乗客への座席の割り当ては、有利なバランスを得る手段としても使用できる。航空機の尾部が重い場合は、体重の重い乗客を前の座席に配置するだけである。燃料の燃焼は、燃料タンクの位置に基づいてCGに影響を与える可能性がある。たとえば、ほとんどの小型航空機は、CGの近くの翼に燃料が搭載され、燃料を消費しても、搭載されたCGにはほとんど影響しない。

重量および重心位置制御の管理

連邦規則集 (14 CFR) パート23、セクション23.23のタイトル14は、航空機を安全に運用できる範囲の重量とCGの確立が義務付けている。メーカーは承認されたAFM、TCDS、または航空機の仕様に含まれるこの情報を提供する。

14 CFR パート91に従って運航するパイロットが各フライトの前に重量と重心位置の計算を行うための特定の要件はないが、14 CFRパート91、セクション91.9は、機長 (PIC) が承認されたAFMの動作制限に従うことを義務付けている。これらの制限には、航空機の重量と重心位置が含まれる。パイロットが重量と重心位置を計算できるように、承認されたAFMでチャートとグラフが提供されている。

重量と重心位置の制御は、すべてのパイロットの関心事でなければならない。パイロットは、特定の航空機の積載と燃料管理 (総重量とCG位置の両方を変更できる2つの可変要素) を制御する。航空機の所有者または操作者は、パイロットが最新の情報を利用できることを確認し、修理または変更が完了したときに記録に適切な入力が行われることを確認する必要がある。機器の取り外しまたは追加により、CGが変更される。

重量の変化を考慮し、重量と重心位置の記録に適切な表記をする必要がある。必要に応じて、機器リストを更新する必要がある。そのような情報がなければ、パイロットには必要な計算と決定の基礎となる基盤がない。

重量が無視できる標準部品またはナット、ボルト、ワッシャー、リベットなどの軽微な機器の追加、および固定翼航空機の重量が無視できる同様の標準部品は、重量と重心位置のチェックを必要としない。無視できる重量の変更に関する次の基準は、航空局通達 (AC) 43.13-1 (改訂版)、方法テクニックと実践—航空機の検査と修理で概説されている。:

- 自重が 5,000 ポンド未満の航空機では 1 ポンド以下
- 自重が 5,000 ポンドから 50,000 ポンドを超える航空機の場合、2 ポンド以下
- 自重が 50,000 ポンドを超える航空機では 5 ポンド以下

無視できるCGの変化は、固定翼機の場合は平均空力翼弦 (MAC) が0.05%未満、回転翼機の場合は0.2%未満の変化である。MACは、翼の前縁から後縁までの平均距離である。これらの制限を超えると、重量と重心位置のチェックが必要になる。

フライトの前に、パイロットは航空機の重量と重心位置の状態を判断する必要がある。積載条件を判断できるようにメーカーは、健全な原則に基づいたシンプルで整然とした手順を考案した。パイロットはこれらの手順を使用し、重量と重心位置を決定する際に適切な判断を行う。多くの現代の航空機では、すべての座席、手荷物室、および燃料タンクをいっぱいにすることができず、承認された重量と重心位置の制限内にとどまる。最大乗客数を輸送する場合、パイロットはしばしば燃料積載量を減らすか、手荷物の量を減らさなければならない。

14 CFR パート125は、36暦月ごとに20席以上の航空機または最大積載量6,000ポンド以上の航空機の重量を測定することを義務付けている。14 CFR パート135に従い運用されるマルチエンジン航空機も、36か月ごとの重量測定が義務付けられている。14 CFR パート135に従い運用される航空機は、証明書保有者の運航に関する仕様書で承認された重量および重心位置システムで運用される場合、36か月の要件が免除される。パート121および135に従った運航に対して承認された重量および重心位置制御プログラムに関する追加情報については、AC 120-27、航空機の重量および重心位置制御の最新版を参照すること。AC 43.13-1「許容される方法、手法、および実践-航空機の検査と修理」は、航空機の整備士が、100時間または1年ごとの検査後に、航空機の記録した重量および重心位置のデータが最新かつ正確であることを確認することも義務付けている。

用語と定義

パイロットは重量と重心位置に関する適切な用語を熟知している必要がある。以下の用語とその定義のリストは標準化されており、これらの用語の知識はパイロットが航空機の重量と重心位置の計算をよりよく理解するのに役立つ。業界標準として一般航空製造業者協会 (GAMA) によって定義されている用語は、タイトルにGAMAで表示されている。

- アーム (モーメントアーム) —基準線からアイテムのCGまでの水平距離 (インチ単位)。代数符号は、基準線の後方で測定した場合はプラス (+)、基準線の前方で測定した場合はマイナス (-) である。
- 基本空虚重量(GAMA)—基本空虚重量に加えて、設置されているオプションの特別な機器の重量。
- 重心 (CG)—航空機をそのポイントで一時停止できる場合にバランスをとるポイント。これは、航空機の重心、または航空機の全重量が集中すると想定される理論上のポイントである。基準線からのインチまたはMACのパーセントで表される。CGは、航空機内で縦方向、横方向、および垂直方向に配置された3次元のポイントである。

- CG 制限—飛行中に CG を配置する必要がある指定の前方および後方ポイント。これらの制限は、関連する航空機の仕様に示されている。
- CG 範囲—関連する航空機の仕様に示されている前方と後方の CG 制限間の距離。
- 基準線—アームのすべての測定値が取得される仮想の垂直面または線。基準線はメーカーが定める。基準線が選択されると、すべてのモーメントアームと CG 範囲の位置がこのポイントから測定される。
- デルター値の変化を示すために記号 Δ で表されるギリシャ文字。例として、 Δ CG は CG の変化（または移動）を示す。
- 重量制限—メーカーが提供する、床が平方インチ/フィートあたりに耐えることができる最大重量。
- 搭載燃料—航空機燃料の消費部分。使用可能な燃料のみが含まれ、満タンにした場合に使用されない燃料やタンクのサンプルに残されたままの燃料は含まれない。
- 認可を受けた空虚重量—機体、エンジン、使用不能燃料、抜けない滑油、および装備品リストに指定されている標準およびオプションの装備品で構成される虚無重量。一部のメーカーは、GAMA 標準化の前にこの用語を使用していた。
- 最大着陸重量—航空機が着陸時に通常許容される最大重量。
- 最大ランプ重量—すべての燃料を含む積載された航空機の総重量。地上走行（タクシー）および助走運転中に燃料を消費するため、離陸重量よりも大きくなる。ランプ重量は、タクシー重量とも呼ばれる。
- 最大離陸重量—離陸の最大許容重量。
- 最大重量—航空機の TCDS で指定されている航空機およびそのすべての機器の最大許可重量。
- 最大ゼロ燃料重量 (GAMA)— 使用可能な燃料を除いた最大重量。
- 平均空力翼弦 (MAC)— 翼の前縁から後縁までの平均距離。
- モーメント—アイテムの重量にアームを掛けた積。モーメントはインチポンド (in-lb) で表される。合計モーメントは、飛行機の重量に基準線と CG の間の距離を掛けたものである。
- モーメントインデックス（またはインデックス）— 100、1,000、10,000 などの定数で割ったモーメント。モーメントインデックスを使用する目的は、重量を単純化し、重量のあるアイテムと長いアームが大きな管理不能数になる航空機の計算のバランスを取ることである。
- ペイロード (GAMA)— 乗員、貨物、および荷物の重量。
- 基本空虚重量 (GAMA)— 機体、エンジン、および固定バラスト、油圧作動油、使用不能燃料、フルエンジンオイルなど、固定位置を持ち、航空機に恒久的に設置されるすべての操作機器で構成される航空機の重量。
- 標準重量—重量と重心位置の計算に関する多数のアイテムの確立された重量。実際の重量を使用できる場合は、これらの重量を使用しないこと。標準重量の一部は次のとおりである。：

ガソリン	6 lb/US gal
ジェット A, ジェット A-1	6.8 lb/US gal
ジェット B.....	6.5 lb/US gal
オイル	7.5 lb/US gal
水	8.35 lb/US gal
- ステーション—基準線からの距離をインチ単位で指定する番号で識別される航空機内の場所。したがって、基準線はステーションゼロとして識別される。ステーション+50 にあるアイテムには、50 インチのアームがある。
- 有効積載量—パイロット、副操縦士、乗客、荷物、使用可能な燃料、および排出可能なオイルの重量。これは、最大許容総重量から差し引かれた基本的な空虚重量である。この用語は、一般航空 (GA) 航空機にのみ適用される。

重量と重心位置の計算の原則

すべてのパイロットが重量と重心位置の決定の基本原則を理解することが不可欠である。次の計算方法は、重量と重心位置の情報が不可欠な物体または車両に適用できる。

航空機の自重を決定し、航空機に搭載されるすべての重量を加えることで、総重量を決定できる。これは単純な概念である。特に重量と重心位置の基本原則が理解されていない場合のより大きな問題は、指定された制限内に位置する必要があるポイント (CG) の周りに積載された航空機の質量全体がバランスするようにこの重量を分散させることである。

航空機のバランスをとるポイントは、CGの位置を特定することで決定できる。CGは、用語の定義で述べられているように、すべての重量が集中する想像上のポイ

ントである。縦方向の安定性と昇降舵制御の間に必要なバランスを提供するために、CGは通常、揚力の中心のわずかに前方に配置される。この負荷状態は、飛行中に機首下げ傾向を引き起こす。これは、高AOAおよび低速での飛行中に望ましいことである。

前述のように、バランスポイント (CG) が含まれる必要がある安全なゾーンは、CG範囲と呼ばれる。範囲の端は前方CG限界および後方CG限界と呼ばれる。これらの制限は通常、基準線と呼ばれる参照点から測定された、飛行機の縦軸に沿ったインチ単位で指定される。基準線は、航空機の設計者によって設定される任意の点であり、航空機によって場所が異なる場合がある。

[図 10-2]

基準線から航空機に搭載された構成部品または物体までの距離は、アームと呼ばれる。物体または構成要素がデータムの後方にある場合、これは正のインチで測定される。基準線の前方にある場合、これは負のインチまたはマイナスのインチとして測定される。物体または部品の場所は、多くの場合ステーションと呼ばれる。物体または構成要素の重量に基準線からの距離を掛けたものがモーメントになる。モーメントは、重力がポイントまたは軸を中心に回転する傾向を引き起こす重力の測定値であり、インチポンド (in-lb) で表される。

説明のために、基準線から100インチ離れたステーションまたはポイントのボードに50ポンドの重りが置かれていると仮定する。重りの下向きの力は、50ポンドに100インチを掛けることで決定できる。これにより、5,000インチポンドのモーメントが発生する。 [図 10-3]

バランスを確立するには、ボードのもう一方の端に合計5,000インチポンドを適用しなければならない。重量と距離の任意の組み合わせを掛けると、5,000ポンドのモーメントが発生し、ボードのバランスが取れる。

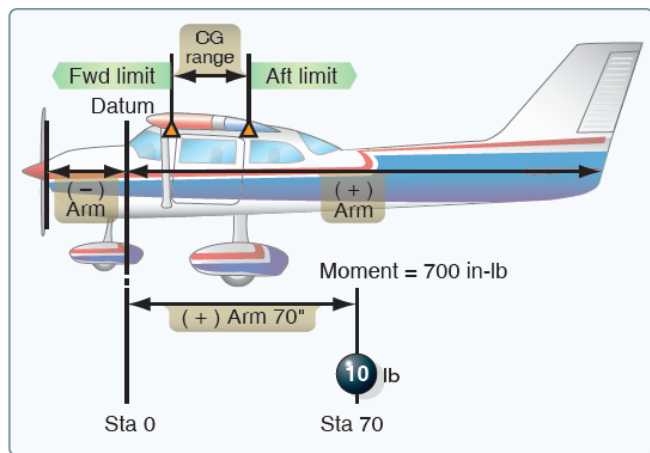


図 10-2. 重量と重心点

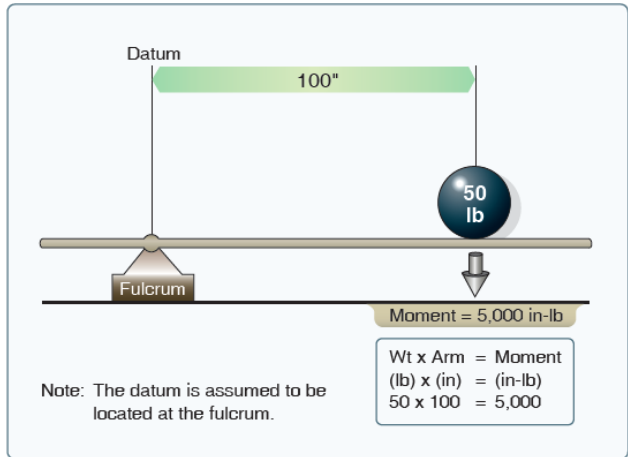


図 10-3. モーメントを決定する。

たとえば、図10-4に示すように、100ポンドの重りが基準線から25インチのポイント (ステーション) に配置され、別の50ポンドの重りが基準線から50インチのポイント (ステーション) に配置されている場合、2つのウェイトの積とその距離の合計が5,000インチポンドのモーメントになり、ボードのバランスが取れる。

重量と重心位置の制限

航空機の重量と重心位置の制限に厳密に従う必要がある。特定の航空機の積載条件と空虚重量は、変更または機器の変更が行われる可能性があるため、AFM / POH で見つかったものとは異なる場合がある。AFM / POH のサンプル読み込みの問題は、ガイダンスのみを目的としている。したがって、各航空機は個別に処理しなければならない。航空機は指定された最大総離陸重量の認定を受けているが、すべての条件下でこの重量で安全に離陸できるわけではない。高高度、高温、高湿度 (高密度高度) など、離陸および上昇の性能に影響する条件では、飛行を試みる前に重量を減らす必要がある場合がある。

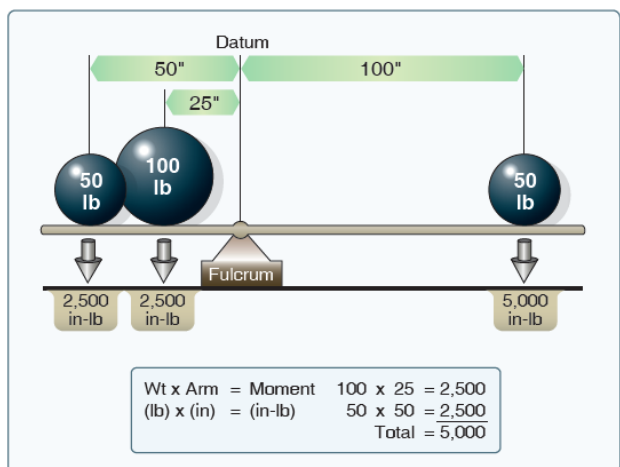


図 10-4. バランスを確立する。

離陸前に重量と重心位置の分布を計算する際に考慮すべきその他の要因は、滑走路の長さ、滑走路の表面、滑走路の傾斜、地表風、障害物の存在である。これらの要因により、フライトの前に重量を減らすか再配分する必要がある。

一部の航空機は、CGが限界外になるような方法でそれらを配置することが困難になるように設計されている。それらは通常、座席、燃料、および手荷物エリアがCG限界の近くにある小型航空機である。パイロットは、CGの限界内でこれらの航空機の重量が過負荷になる可能性があることに注意しなければならない。他の航空機は、有効積載量をを超えていなくても、CGの限界を超えるような方法で積載することができる。不均衡または過重量の状態の影響があるため、パイロットは常に航空機が適切に積載されていることを確認する必要がある。

積載重量とCGの決定

航空機の積載重量とCGを決定するには、さまざまな方法がある。計算方法と、航空機メーカーが提供するグラフと表を利用する方法がある。

計算方法

以下は、基本的な数学関数の適用を含む計算方法の例である。

航空機許容量:

最大総重量.....3,400 LB
CG 範囲.....78-86 インチ

仮定:

前部座席占有者の重量.....40 LB
後部座席占有者の重量.....350 LB
燃料5 ガロン
エリア 1 の荷物の重量.....80 LB

1. 航空機、乗員、燃料、手荷物の重量をリストする。この例では、航空用ガソリン (AVGAS) の重量がガロンあたり 6LB であることに注意する。
2. リストされた各アイテムのモーメントを入力する。「重量×アーム=モーメント」を思い出すこと。
3. 総重量と総モーメントを算出する。
4. CG を決定するには、総モーメントを総重量で割る。

注: 特定の航空機の重量と重心点の記録は、空の重量とモーメント、およびアームの距離に関する情報となる。
[図 10-5]

3,320ポンドの総積載重量は3,400ポンドの最大総重量を超えず、84.8のCGは78~86インチの範囲内である。したがって、航空機は制限内で積載される。

Item	Weight	Arm	Moment
Aircraft Empty Weight	2,100	78.3	164,430
Front Seat Occupants	340	85.0	28,900
Rear Seat Occupants	350	121.0	42,350
Fuel	450	75.0	33,750
Baggage Area 1	80	150.0	12,000
Total	3,320		281,430
			281,430 ÷ 3,320 = 84.8

図 10-5. 重量と重心点の計算の例

グラフ法

積載重量とCGを決定する別の方法は、メーカーが提供するグラフの使用である。計算を簡単にするために、モーメントを100、1,000、または10,000で割ることがある。
[図 10-6, 10-7, および10-8]

前部座席占有者..... 340 LB
後部座席占有者..... 300 LB
燃料.....40 ガロン
荷物エリア 1..... 20 LB

グラフ法では、提供されるグラフがモーメントを計算し、パイロットは航空機が限度内に積載されているかどうかを判断できることを除いて、計算法で使用されたのと同じ手順に従う必要がある。荷重グラフを使用してモーメントを決定するには、重量を明らかにし、それがモーメントを計算するアイテムをインターセプトするまで直線を引く。次に、直線を下に引いてモーメントを決定する。(図10-7の荷重グラフの赤い線は、パイロットと助手席のモーメントを表す。他のすべてのモーメントは同じ方法で決定されている。)

Sample Loading Problem	Weight (lb)	Moment (in-lb/1,000)
1. Basic empty weight (Use data pertaining to aircraft as it is presently equipped) includes unusable fuel and full oil	1,467	57.3
2. Usable fuel (At 6 lb/gal)		
■ Standard tanks (40 gal maximum)	240	11.5
■ Long range tanks (50 gal maximum)		
■ Integral tanks (62 gal maximum)		
■ Integral reduced fuel (42 gal)		
3. Pilot and front passenger (Station 34 to 46)	340	12.7
4. Rear passengers	300	21.8
5. Baggage area 1 or passenger on child's seat (Station 82 to 108, 120 lb maximum)	20	1.9
6. Baggage area 2 (Station 108 to 142, 50 lb maximum)		
7. Weight and moment	2,367	105.2

図 10-6. 重量と重心点のデータ

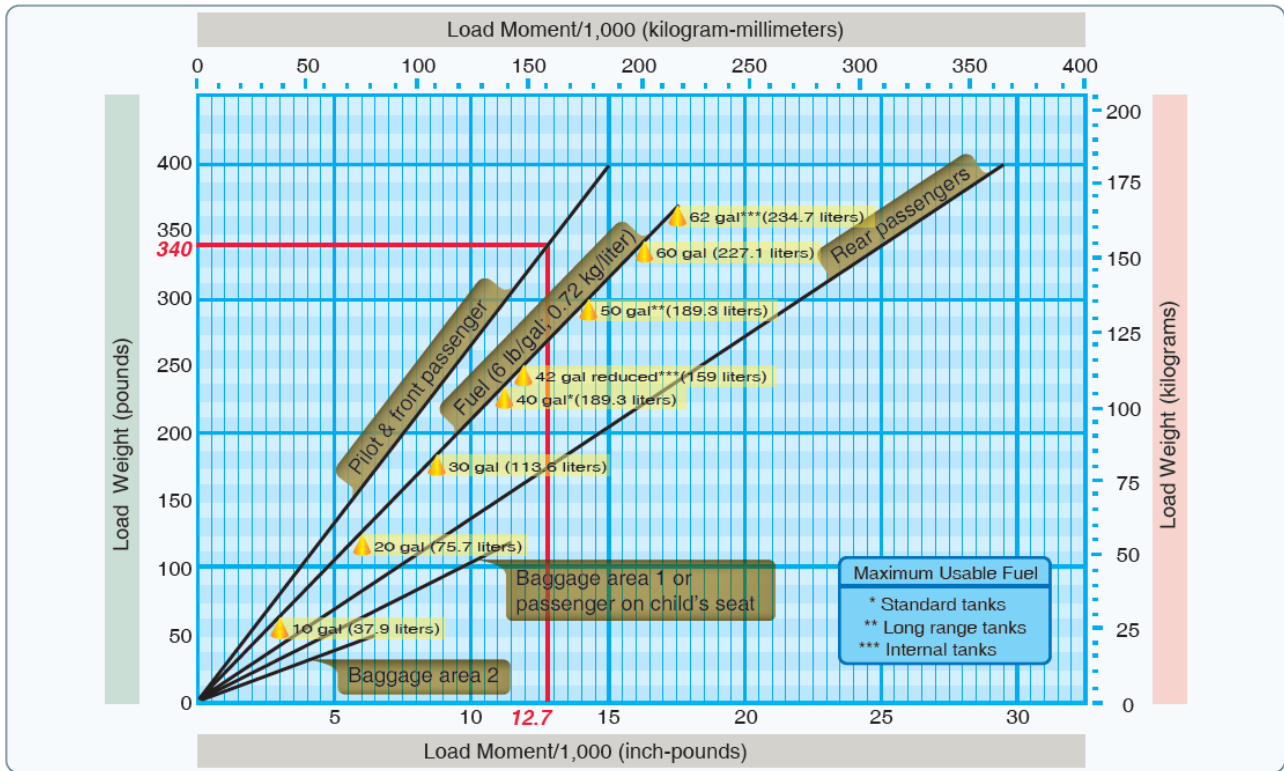


図 10-7. 荷重グラフ

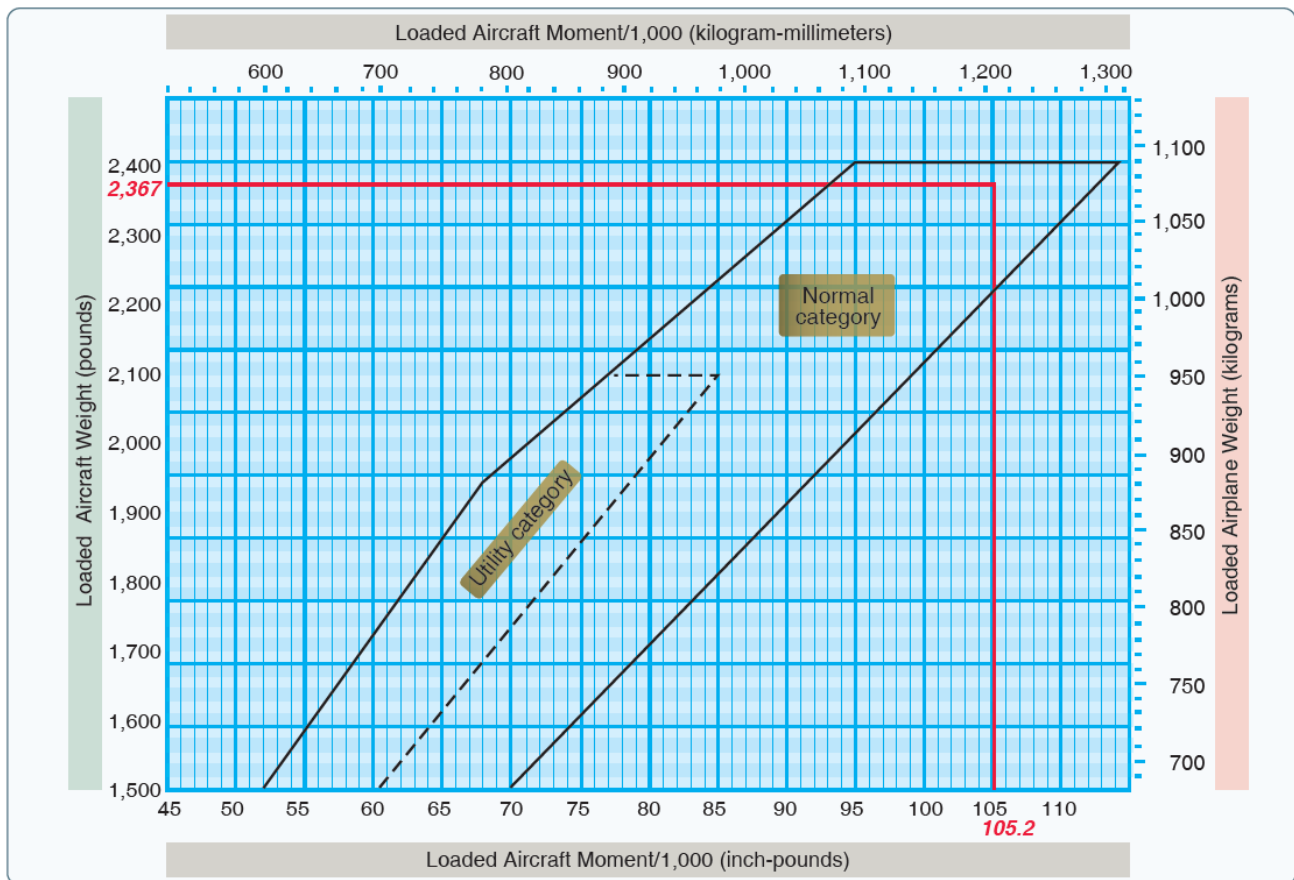


図 10-8. CGモーメントエンベロップ

これを各アイテムごとに実行したら、重量とモーメントを合計し、CGエンベロップグラフに重量とモーメントの両方の線を引く。線がエンベロップ内で交差する場合、航空機は限度内で積載されている。このサンプルの積載の問題では、航空機は限度内で積載されている。

表方式

表方式は、計算方式およびグラフ方式と同じ原理を使用する。情報と限度は、メーカーが提供する表に含まれている。図 10-9は、表とその表に基づく重量と重心位置の計算の例である。この問題では、総重量2,799ポンドとモーメント2,278 / 100はこの表の限度内である。

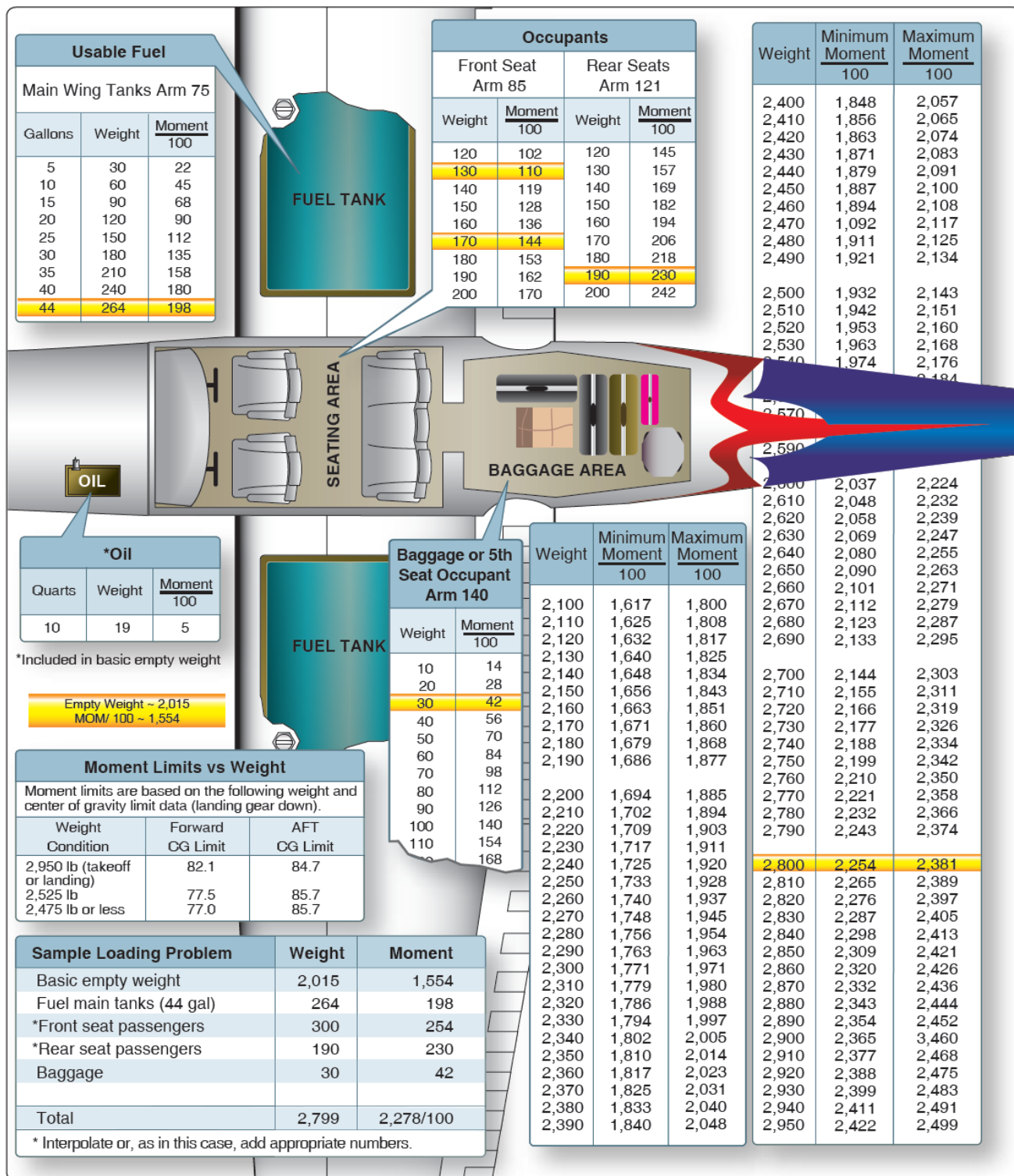


図 10-9. 積み込みスケジュールのプラカード

ネガティブアームを使用した計算

図 10-10は、負のアームを持つ航空機を使用した重量と重心位置の計算のサンプルである。負の値に正の値を掛けた値は負で、合計のモーメントから負の値が差し引かれることを忘れてはいけない。

ゼロ燃料重量での計算

図 10-11 は、燃料重量がゼロの航空機を使用した重量と重心位置の計算のサンプルである。この例では、航空機から燃料を除いた総重量は4,240ポンドであり、これはゼロ燃料重量4,400ポンド未満である。燃料を搭載していない航空機の総重量が4,400ポンドを超えていた場合、乗客または貨物を減らして重量を最大ゼロ燃料重量以下にする必要がある。

重量のシフト、追加、および削除

パイロットは、重量の移動、追加、または削減に関連する問題を正確に解決できなければならない。たとえば、パイロットが許容される離陸重量限度内で航空機に積載後、CG限度を超えていることに気付くことがある。この問題に対する最も満足のいく解決策は、荷物、乗客、またはその両方を移動することである。パイロットは、航空機を安全に飛行させるために必要な最小荷重シフトを決定できる必要がある。パイロットは、荷物を別の場所に移動することで限度外の状態が修正されるかどうかを判断できる必要がある。これらの決定に役立つ標準化された計算がいくつかある。

重量の移動

重量がある場所から別の場所に移動しても、航空機の総重量は変わらない。しかし、合計モーメントは、重量が移動する方向と距離に応じて変化する。重量が前方に移動すると、合計モーメントが減少する。重量が後方に移動すると、合計モーメントが増加する。モーメントの変化は、移動した重量の量に比例する。多くの航空機には前方および後方に荷物室があるため、重さを一方から他方に移動してCGを変更できる。既知の航空機重量、CG、および総モーメントから開始する場合、新しい総モーメントを総航空機重量で除算することにより、(重量移動後の)新しいCGを計算する。

Item	Weight	Arm	Moment
Licensed empty weight	1,011.9	68.6	69,393.0
Oil (6 quarts)	11.0	-31.0	-341.0
Fuel (18 gallons)	108.0	84.0	9,072.0
Fuel, auxiliary (18 gallons)	108.0	84.0	9,072.0
Pilot	170.0	81.0	13,770.0
Passenger	170.0	81.0	13,770.0
Baggage	70.0	105.0	7,350.0
Total	1,648.9		122,086.0
CG		74.0	

図 10-10. マイナスを使用したサンプルの重量と重心点

Item	Weight	Arm	Moment
Basic empty weight	3,230	CG 90.5	292,315.0
Front seat occupants	335	89.0	29,815.0
3 rd & 4 th seat occupants forward facing	350	126.0	44,100.0
5 th & 6 th seat occupants	200	157.0	31,400.0
Nose baggage	100	10.0	1,000.0
Aft baggage	25	183.0	4,575.0
Zero fuel weight max 4,400 pounds			
Subtotal	4,240	CG 95.1	403,205.0
Fuel	822	113.0	92,886.0
Ramp weight max 5,224 pounds			
Subtotal ramp weight	5,062	CG 98.0	496,091.0
* Less fuel for start, taxi, and takeoff	-24	113.0	-2,712.0
Subtotal takeoff weight	5,038	CG 97.9	493,379.0
Less fuel to destination	-450	113.0	-50,850.0
Max landing weight 4,940 pounds			
Actual landing weight	4,588	CG 96.5	442,529.0

*Fuel for start, taxi, and takeoff is normally 24 pounds.

図 10-11. 公開されているゼロ燃料重量の航空機を使用したサンプルの重量と重心位置

新しい合計モーメントを決定するには、重量を移動したときに得られるまたは失われるモーメントの数を調べる。100ポンドがステーション30からステーション150に移動したと仮定する。この移動により、航空機の合計モーメントが12,000インチポンド増加する。

ステーション150

のモーメント = 100 lb x 150 in = 15,000 in-lb

ステーション30

のモーメント = 100 lb x 30 in = 3,000 in-lb

Mモーメント変化 = [15,000 - 3,000] = 12,000 in-lb

モーメントの変化を元のモーメントに追加する (または重量が後方ではなく前方に移動した場合は減算することにより、新しい合計モーメントを算出できる。次に、新しいモーメントを総重量で割って、新しいCGを決定する:

$$\text{合計モーメント} = 616,000 \text{ in-lb} + 12,000 \text{ in-lb} = 628,000 \text{ in-lb}$$

$$\text{CG} = \frac{628,000 \text{ in-lb}}{8,000 \text{ lb}} = 78.5 \text{ in}$$

移動により、CGはステーション78.5に移動した。

Example

$$\frac{\text{Weight shifted}}{\text{Total weight}} = \frac{\Delta\text{CG (change of CG)}}{\text{Distance weight is shifted}}$$

$$\frac{100}{8,000} = \frac{\Delta\text{CG}}{120}$$

$$\Delta\text{CG} = 1.5 \text{ in}$$

The change of CG is added to (or subtracted from when appropriate) the original CG to determine the new CG:
 $77 + 1.5 = 78.5$ inches aft of datum

The shifting weight proportion formula can also be used to determine how much weight must be shifted to achieve a particular shift of the CG. The following problem illustrates a solution of this type.

Example

Given:

Aircraft total weight 7,800 lb
 CG station 81.5 in
 Aft CG limit 80.5 in

Determine how much cargo must be shifted from the aft cargo compartment at station 150 to the forward cargo compartment at station 30 to move the CG to exactly the aft limit.

Solution:

$$\frac{\text{Weight to be shifted}}{\text{Total weight}} = \frac{\Delta\text{CG}}{\text{Distance weight is shifted}}$$

$$\frac{\text{Weight to be shifted}}{7,800 \text{ lb}} = \frac{1.0 \text{ in}}{120 \text{ in}}$$

$$\text{Weight to be shifted} = 65 \text{ lb}$$

コンピューターまたは計算機と比例式を使用して、より簡単な解決策を得ることができる。これは、重心が移動する距離に比例する距離をCGが移動するため、実行できる。

重量の追加または削減

多くの場合、航空機の重量と重心位置は、重量の追加または削減によって変更される。変更した場合、新しいCGを計算し、限度に照らしてチェックして、その位置が許容可能かどうかを確認しなければならない。この種の重量と重心位置の問題は、航空機が飛行中に燃料を消費し、それにより燃料タンクの重量が減るときによく発生する。ほとんどの小型航空機は、燃料タンクをCGの近くに配置して設計されている。したがって、燃料の消費はCGに大きな影響を与えない。

貨物の追加または取り卸しによって、飛行前に計算しなければならないCG変更の問題が生じる。この問題は、合計モーメントを含む計算によって常に解決できるであろう。典型的な問題には、積載し飛行の準備が整った、出発時刻の直前に追加の貨物または乗客を積載する場合の航空機の新しいCGの計算などがある。

Example

Given:

Aircraft total weight 6,860 lb
 CG station 80.0 in

Determine the location of the CG if 140 pounds of baggage is added to station 150.

Solution:

$$\frac{\text{Added weight}}{\text{New total weight}} = \frac{\Delta\text{CG}}{\text{Distance between weight and old CG}}$$

$$\frac{140 \text{ lb}}{6,860 \text{ lb} + 140 \text{ lb}} = \frac{\Delta\text{CG}}{150 \text{ in} - 80 \text{ in}}$$

$$\frac{140 \text{ lb}}{7,000 \text{ lb}} = \frac{\Delta\text{CG}}{70 \text{ in}}$$

$$\text{CG} = 1.4 \text{ in aft}$$

Add ΔCG to old CG

$$\text{New CG} = 80 \text{ in} + 1.4 \text{ in} = 81.4 \text{ in}$$

Example

Given:

Aircraft total weight 6,100 lb
 CG station 80.0 in

Determine the location of the CG if 100 pounds is removed from station 150.

Solution:

$$\frac{\text{Weight removed}}{\text{New total weight}} = \frac{\Delta\text{CG}}{\text{Distance between weight and old CG}}$$

$$\frac{100 \text{ lb}}{6,100 \text{ lb} - 100 \text{ lb}} = \frac{\Delta\text{CG}}{150 \text{ in} - 80 \text{ in}}$$

$$\frac{100 \text{ lb}}{6,000 \text{ lb}} = \frac{\Delta\text{CG}}{70 \text{ in}}$$

$$\text{CG} = 1.2 \text{ in forward}$$

Subtract ΔCG from old CG

$$\text{New CG} = 80 \text{ in} - 1.2 \text{ in} = 78.8 \text{ in}$$

前述の例では、 ΔCG は古いCGに対して加算または減算される。どちらを行うかは、特定の重量変化に対してCGがどのように移動するかを頭で計算することで判断できる。CGが後方に移動している場合、 ΔCG は古いCGに追加される。CGが前方に移動している場合、 ΔCG は古いCGから差し引かれる。

章のまとめ

重量と重心位置の限度内で航空機を操作することは、飛行の安全にとって重要である。パイロットは、CGがフライトのすべての段階で承認された限度内にあることを確実にしなければならない。重量、バランス、CG、および航空機の安定性に関する追加情報については、特定の航空機カテゴリに該当するFAAハンドブックを参照すること。

