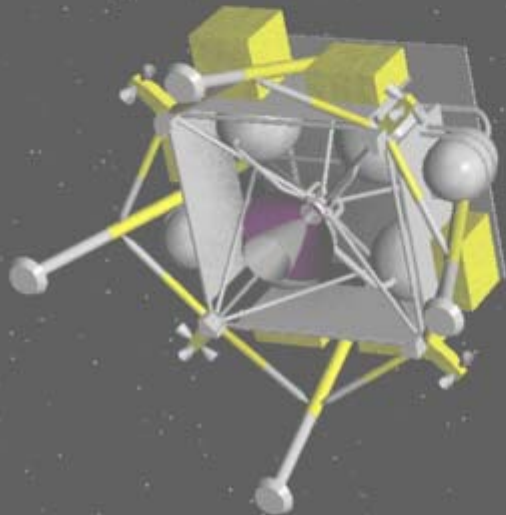


平成13年7月17日
SELENE-Bシンポジウム

月軟着陸実験 (SELENE-B) 検討グループの検討結果

- 着陸脚と衝撃吸収・転倒防止機構 -



SELENE-B検討グループ
着陸衝撃吸収機構検討グループ

月着陸船については旧SELENE推進モジュールで検討してきた。この結果、場合によっては転倒する可能性があることが判明した。また構造 / 脚重量も軽いと言えるものではなかった。

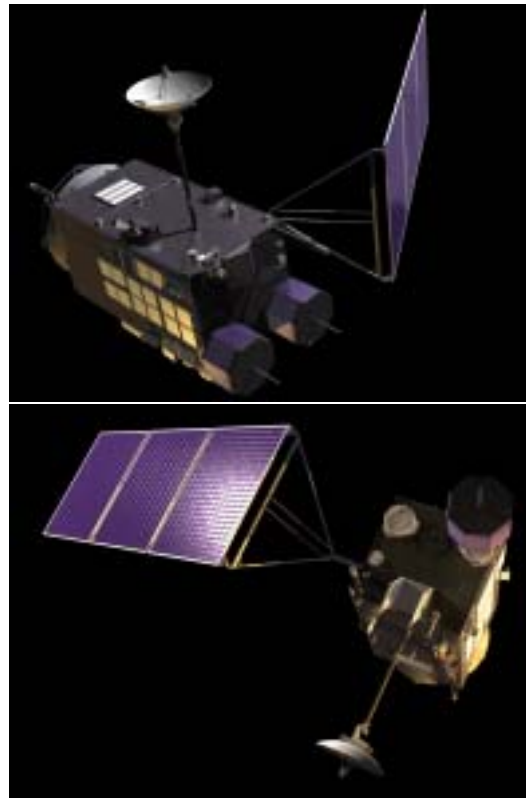
- 1 . 月着陸船の着陸時において、転倒等によって着陸船の着陸後の機能を消失しないような着陸機の構造 / 着陸衝撃吸収機構を検討する。
- 2 . 着陸衝撃吸収機構について、従来のシステムより簡素で軽量な着陸衝撃吸収機構（脚・パッド）を検討する。
- 3 . 着陸衝撃吸収機構を含めた構造全般の軽量化。

旧SELENE推進モジュールの着陸が計画変更によりなくなった。



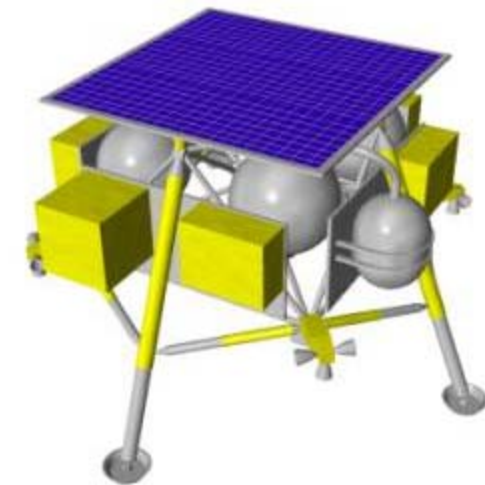
旧SELENE形状

計画変更



新SELENE形状

独立した単機での着陸船化



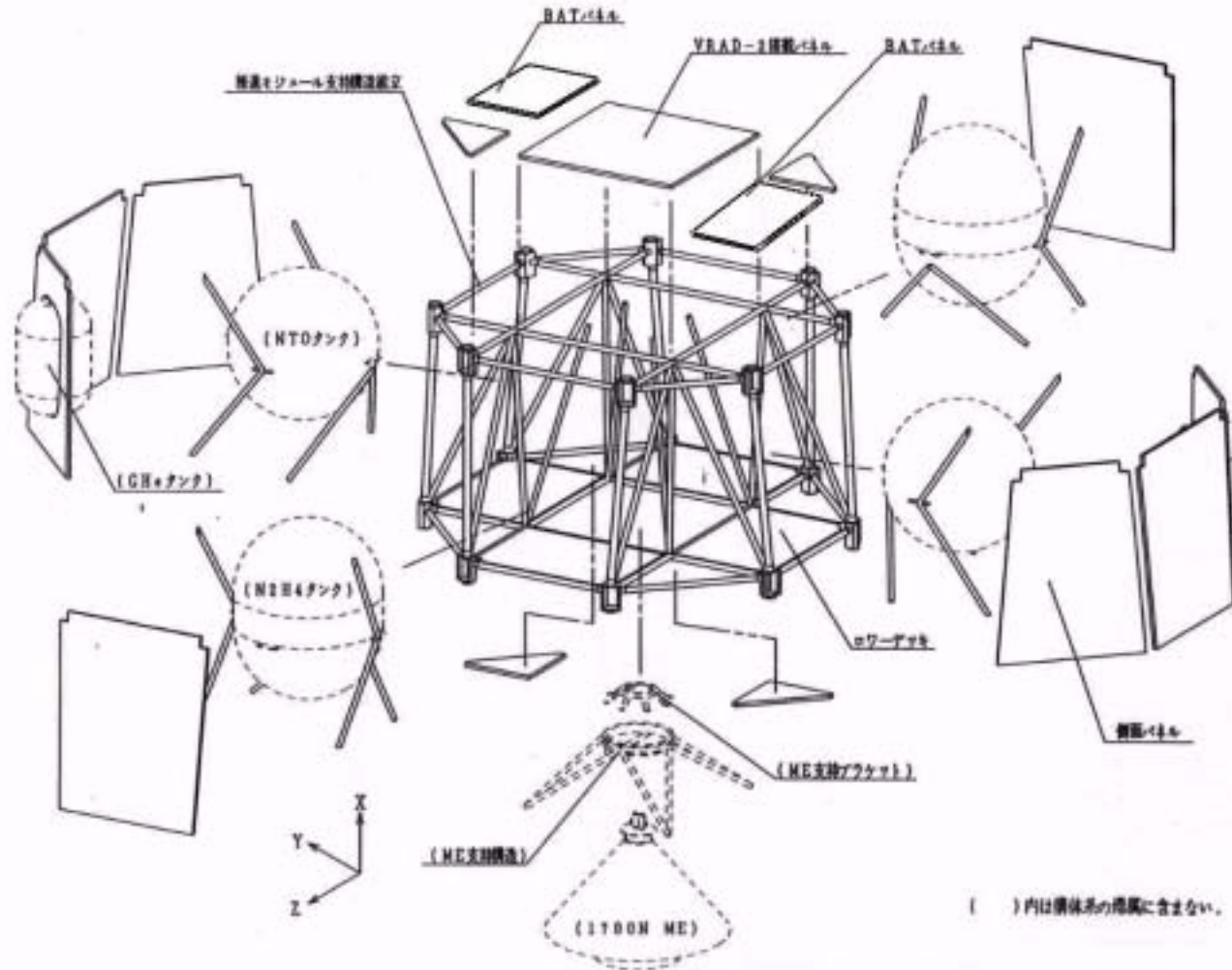
トラス構造着陸船の例

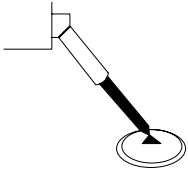
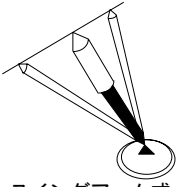
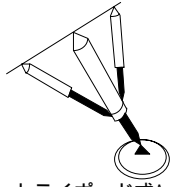
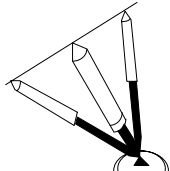
SELENE-B

機体規模は旧SELENE
着陸船と同等

旧SELENE着陸船

旧SELENE推進モジュールの構体は従来の衛星に用いられている構造様式の間でトレードオフを行い「トラス・パネル方式」を採用した。



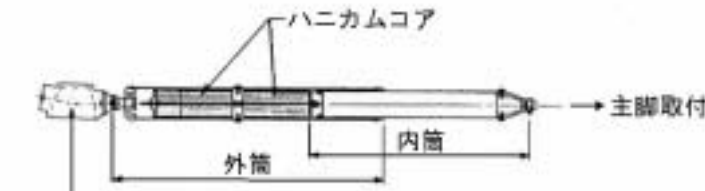
	テレスコピック式	スイングアーム式	カンチレバー式	リンク式
外観	 <p>テレスコピック式 (DC-X)</p>	 <p>スイングアーム式 (SURVEYOR)</p>	 <p>トライポッド式A (APOLLO)</p>	 <p>トライポッド式B</p>
特徴	<p>構体に固定されたテレスコピックの収縮により緩衝。構成がシンプル。横方向荷重等に対して対応困難。構体のサイズにより脚間隔がほぼ一意に決定してしまう。</p>	<p>ピボット軸を持つ収縮伸張可能なアームと固定長アームの組み合わせにより、縦方向荷重を回転運動に変化させながら減衰。横方向荷重への対応は困難。</p>	<p>スイングアーム方式の改良。総てを収縮伸張可能なアーム(脚)とすることにより、任意方向の荷重に対して対応可能としたもの。副脚は収縮/伸展の両方に対応する必要有り。</p>	<p>スイングアーム方式の改良。総てを収縮伸張可能なアーム(脚)とすることにより、任意の方向の荷重に対して対応可能としたもの。総て脚が収縮対応のみで構成可能。</p>
脚構成要素間の干渉	主脚のみで干渉無し。	主脚のみで干渉無し。	主/副、各脚が独立	主/副脚間干渉の可能性有り
横荷重への対応	収縮動作で対応するため限界有り。	スイングで対応するため限界有り。	脚構成で対応可能。	脚構成で対応可能。
捻りへの対応	基本的に対応困難。 ×	基本的に対応困難。 ×	脚構成で対応可能。	脚構成で対応可能。
脚に対するモ-メント量	大	小	やや大	小
重量	軽量	比較的軽量	やや重い	やや重い
実績	一般航空機 DC-X	サーベイヤー バイキング	アポロLM	不明
総合評価	×	×		

旧SELENE-B着陸脚

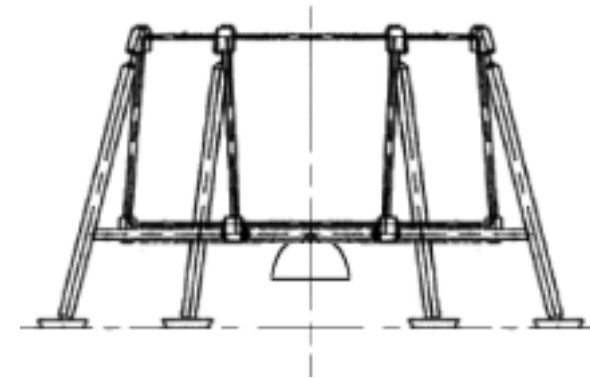
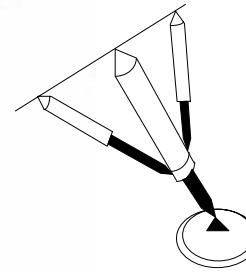
月面着陸時の降着装置については、衝撃緩衝方式、転倒防止方式の両観点からトレードオフを実施し、衝撃緩衝と転倒防止をバランス良く両立可能なカンチレバー式の着陸脚を採用した。



主脚概要

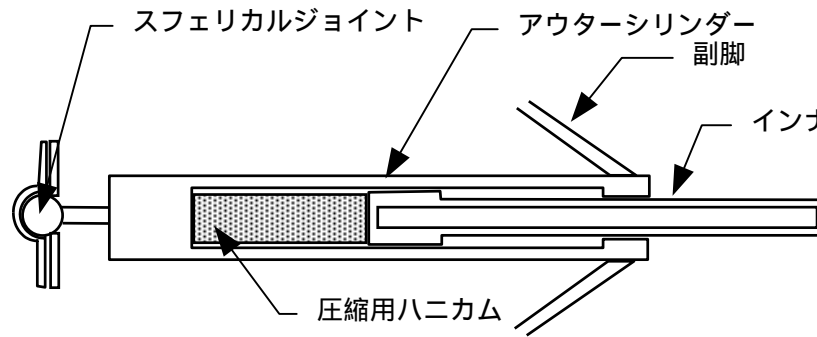


副脚概要

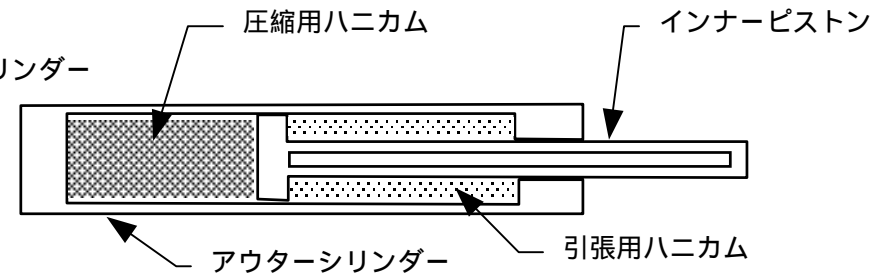


構体質量: 約84kg

脚組質量: 約30kg



主脚構造様式



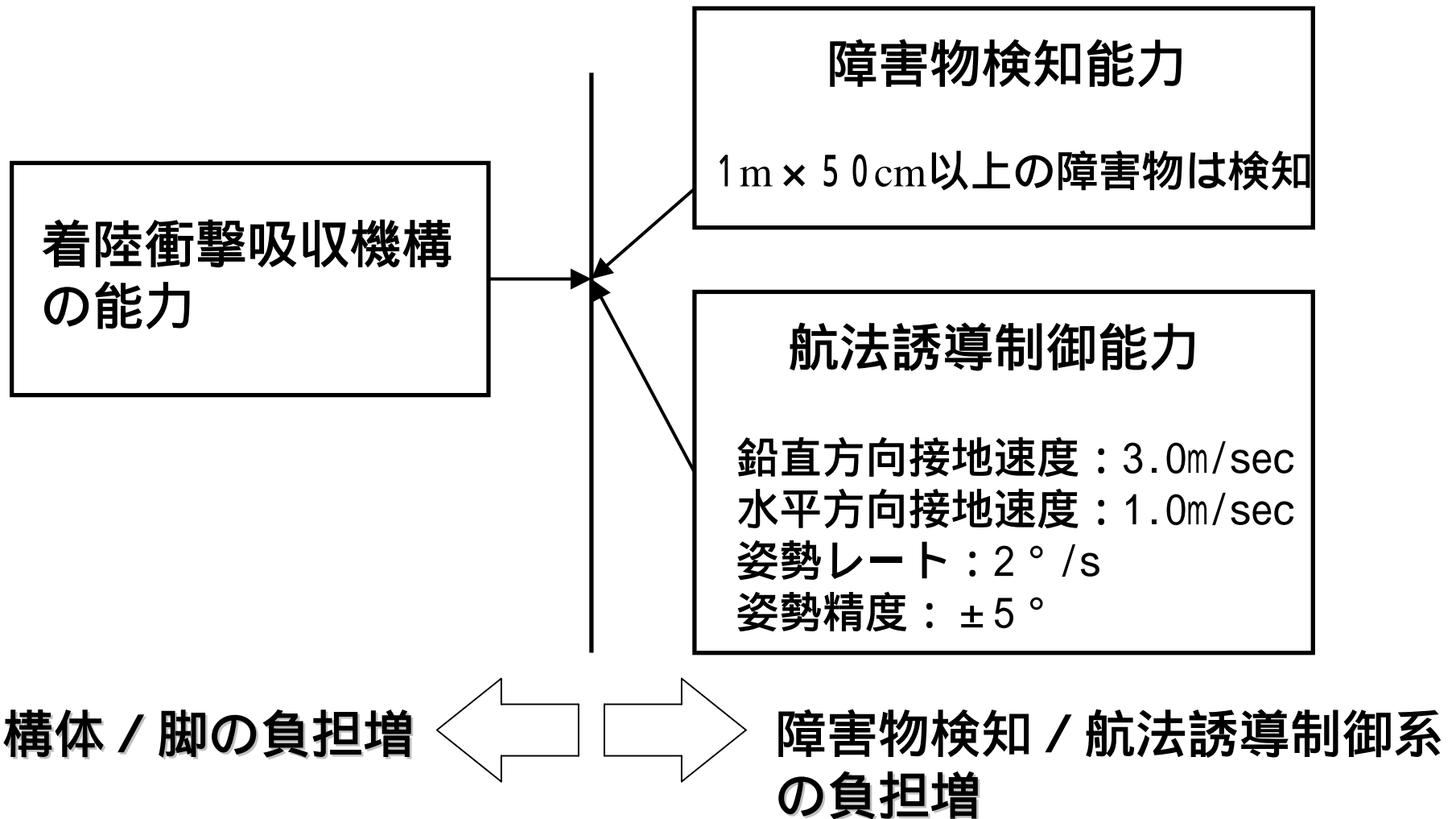
副脚構造様式

- ・推進モジュールから独立した機体に変更
 - 上部にミッションモジュールを支える必要がない
 - 必要な機器を全て機体に搭載する必要がある
 - より柔軟な機体形状が許容される

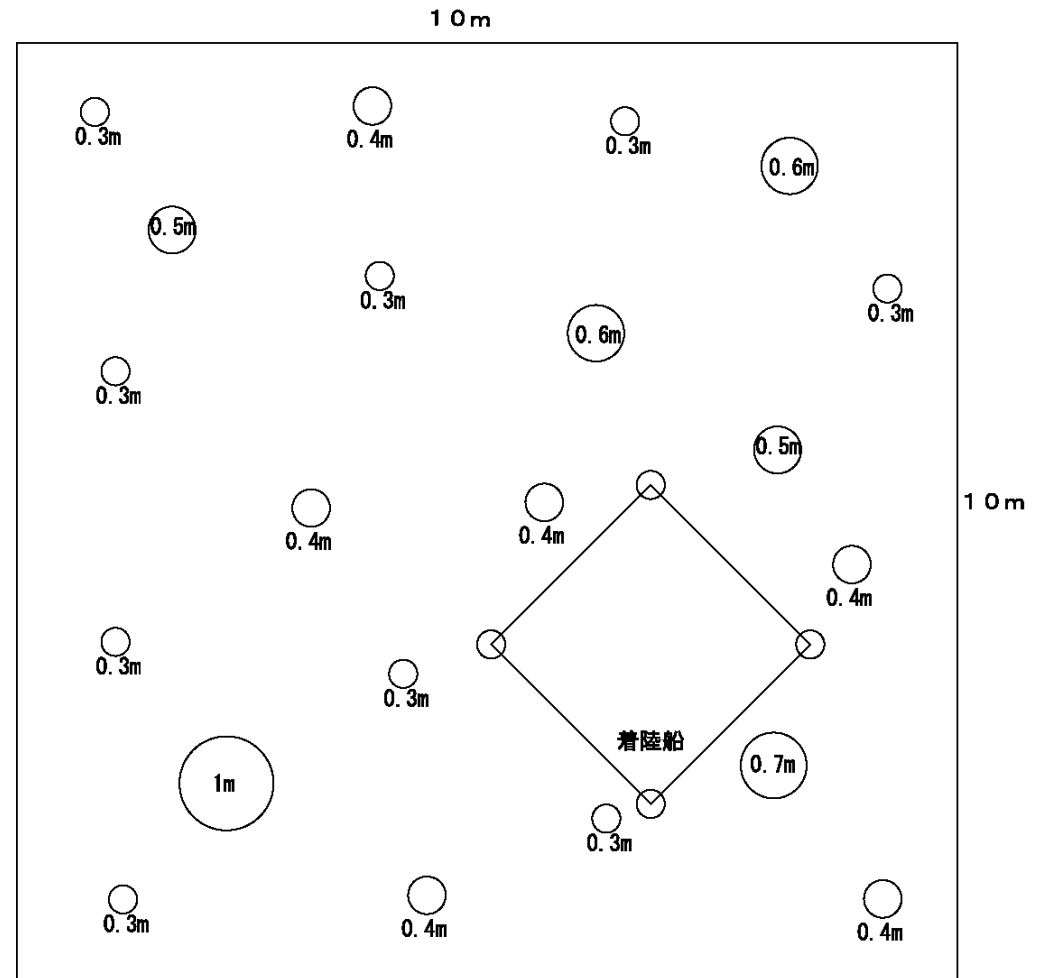
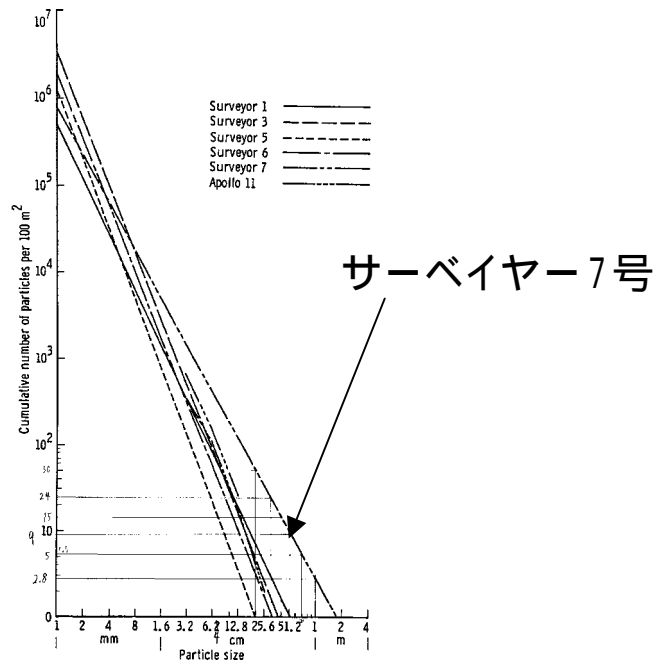
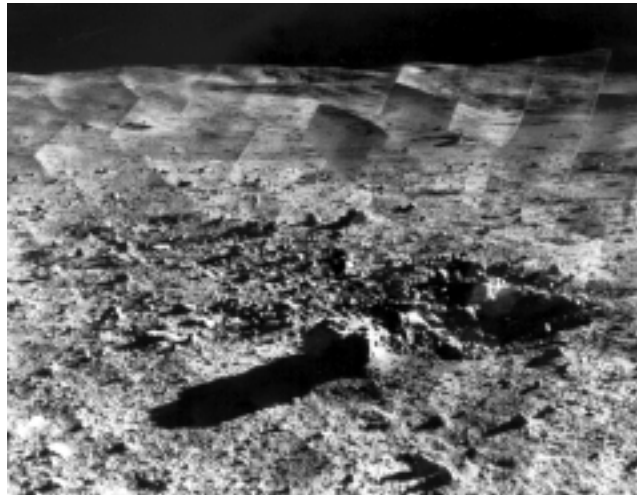
- ・ミッション期間の短縮
 - メテオロイドの防護構造が不要

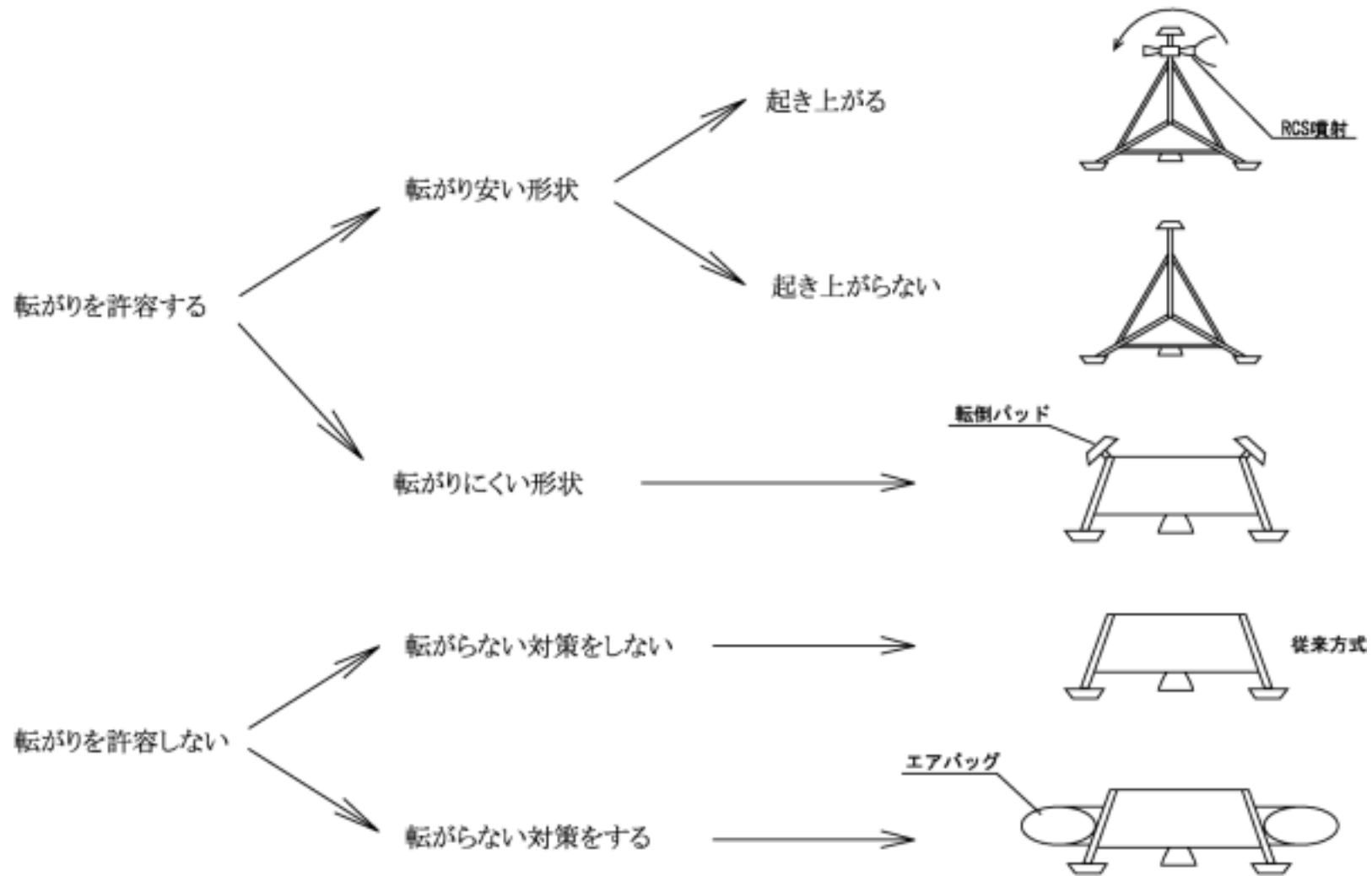
- ・着陸地点の変更(岩が比較的多い着陸地形)
 - 脚システムへの負担増
 - 下面クリアランスの必要量増加

着陸衝撃吸収でどこまで考慮しなければならないか



サーベイヤー 7号の着陸点と同等の岩分布とする。





システムのなマージンを減らす

- 多脚システムで、1脚接地の場合のマージンを削減

多脚システムでは1脚接地時になっても大丈夫のように考えるが、多脚同時接地時に比べて無駄なマージンが増える。これを可能な限り削減する。

- 考慮する障害物の大きさを最小限にする

下面クリアランスや脚柱の長さを最小限に抑える必要がある。

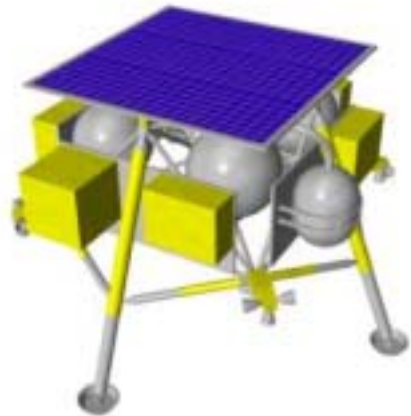
構体全体で考える

- 脚一体化構造で軽量化をはかる

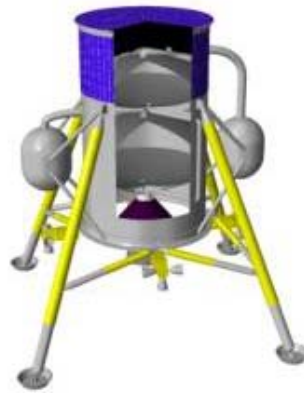
独立した脚を設置せず、構造と脚を一体化させることで構造部材を減らし、軽量化をはかる。

- 着地パッドで衝撃吸収機構の簡素化をはかる

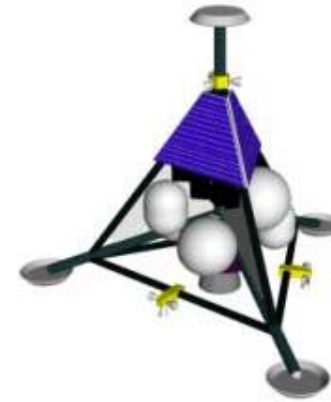
可動部が多い脚の代わりに可動部のない着地パッド等で機構を簡素化して軽量化をはかる。



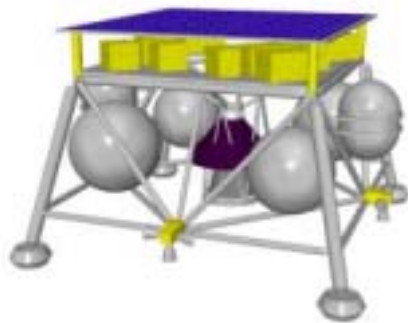
トラス構造着陸船



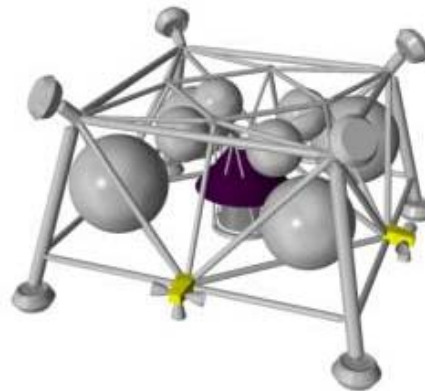
インテグラルタンク着陸船



テトラポッド型着陸船



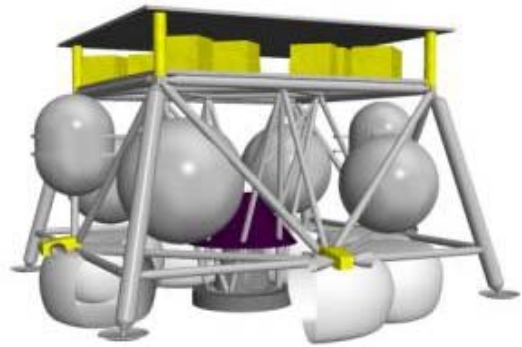
着陸パッド型着陸船



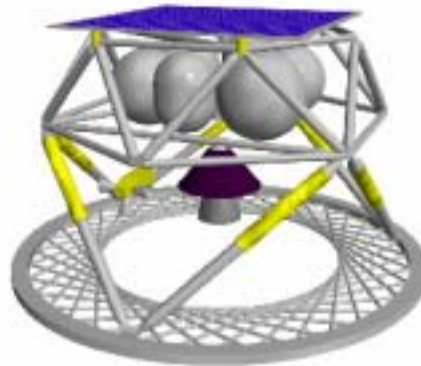
耐転倒性着陸船



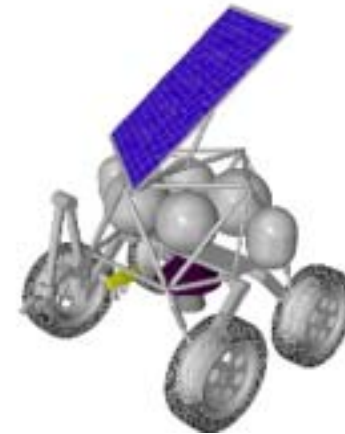
転倒安定型着陸船



エアバッグ着陸船



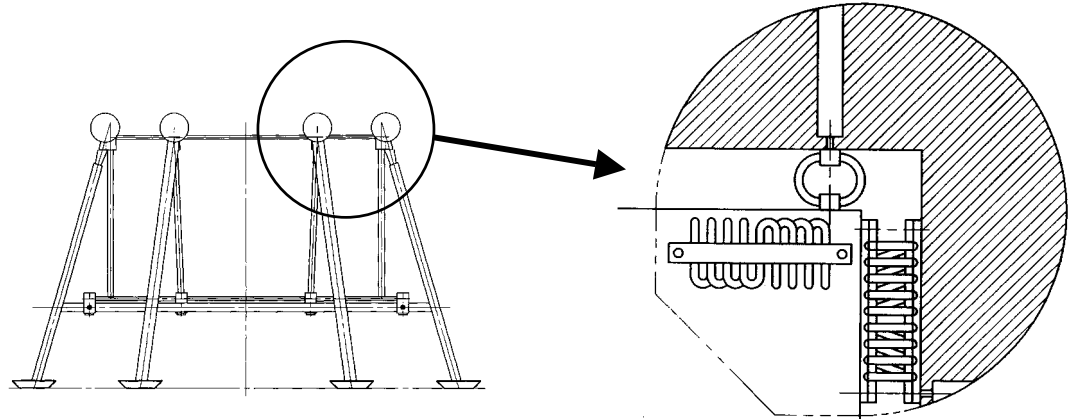
リング状脚着陸船



ローバー型着陸船

肩部転倒パッド

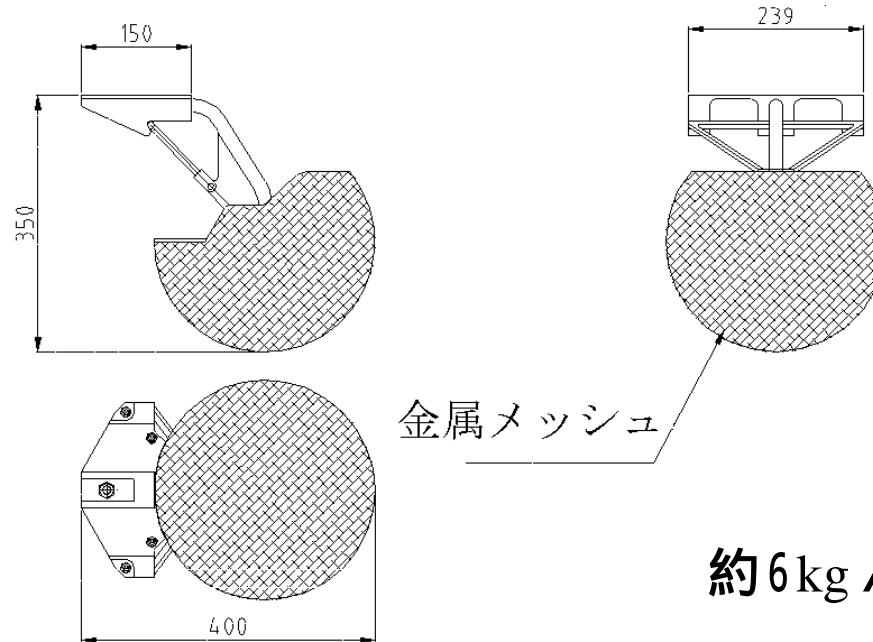
着陸船の肩部にバネを利用した転倒パッドを設置して、転倒時に機体の損傷を防ぐ。



8 ~ 10kg / 個

着陸パッド

金属の塑性変形を利用し、機構を単純化することで軽量化を図る。



金属メッシュ

約6kg / 個

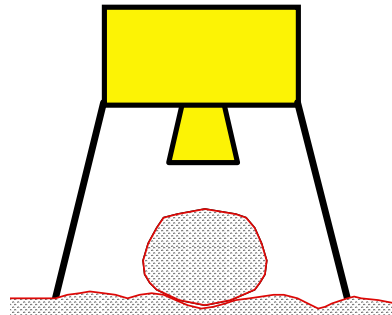
月着陸船のコンセプト案を考案し、衝撃吸収機構についていくつかの案を検討した。しかし、軽量で確実な着陸を実現させるコンセプトの決定打はまだない。
今後さらなる着陸船コンセプトを洗い出し、有望な形態について定量的検討を実施する。

構体/脚システムの検討を進めるにあたり今後必要な作業

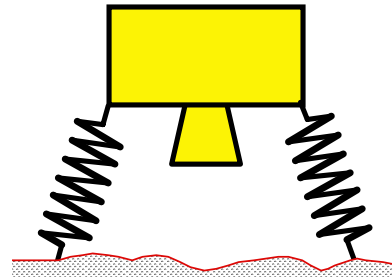
レゴリス特性の把握（シミュラントによる試験）
熱制御の成立性（太陽電池パドル／放熱面の設置場所）
機器配置の成立性（ローバー／観測機器／スラスター）
着陸地面の状態設定（クリチカルケースの設定）
着陸挙動解析の実用化
落下試験の試験法検討

ここでは、できるだけ転倒させないことを前提とする。
エネルギー吸収機構としては最も簡単なハニカムクラッシュ方式を用いる。

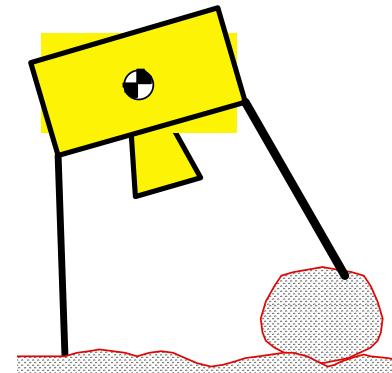
長い脚



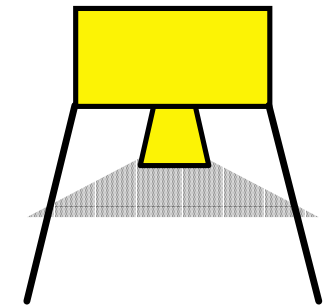
底突きの可能性小



クラッシュストローク大
(クラッシュ荷重を小さくできる,
地面形状に倣わせやすい)

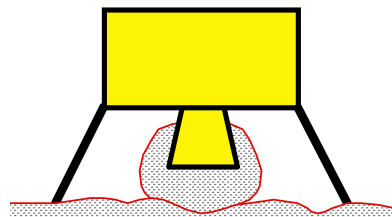


転倒可能性大
重量大

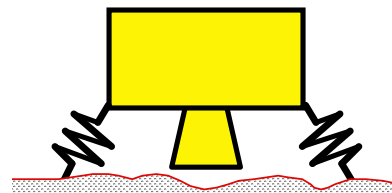


脚がプルームに入りやすい

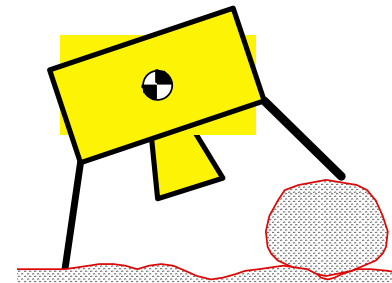
短い脚



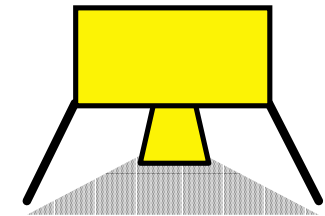
底突きの可能性大



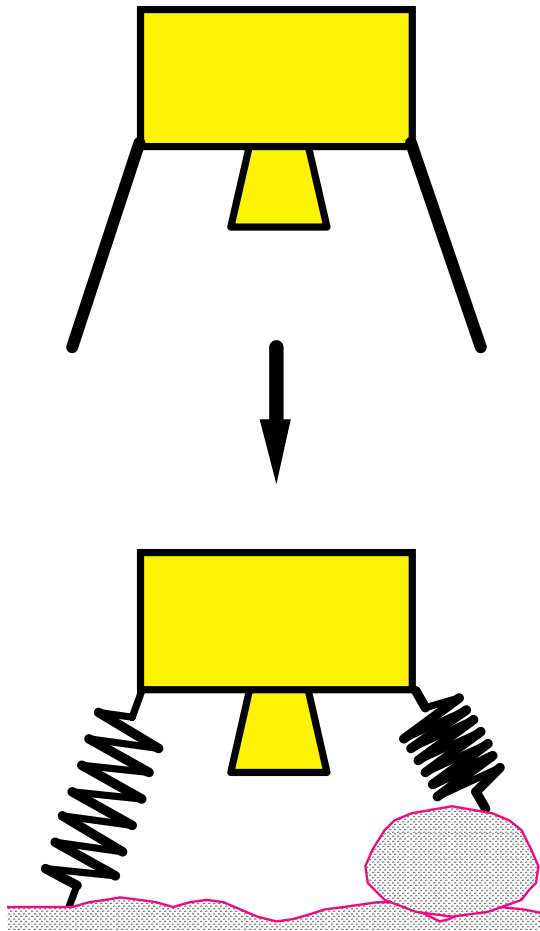
クラッシュストローク小
(クラッシュ荷重大きいので
脚の強度要求大)



転倒可能性小
重量小



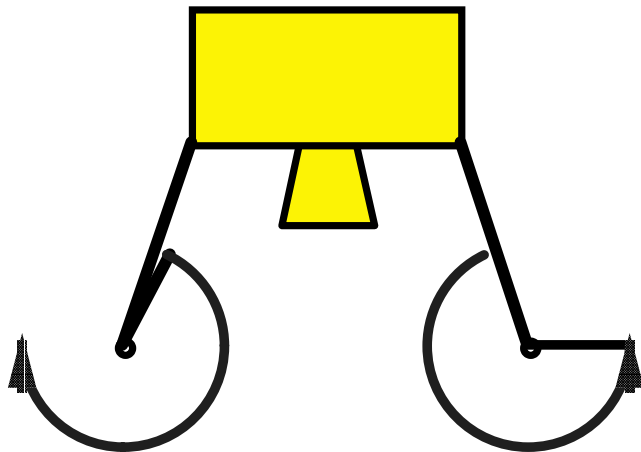
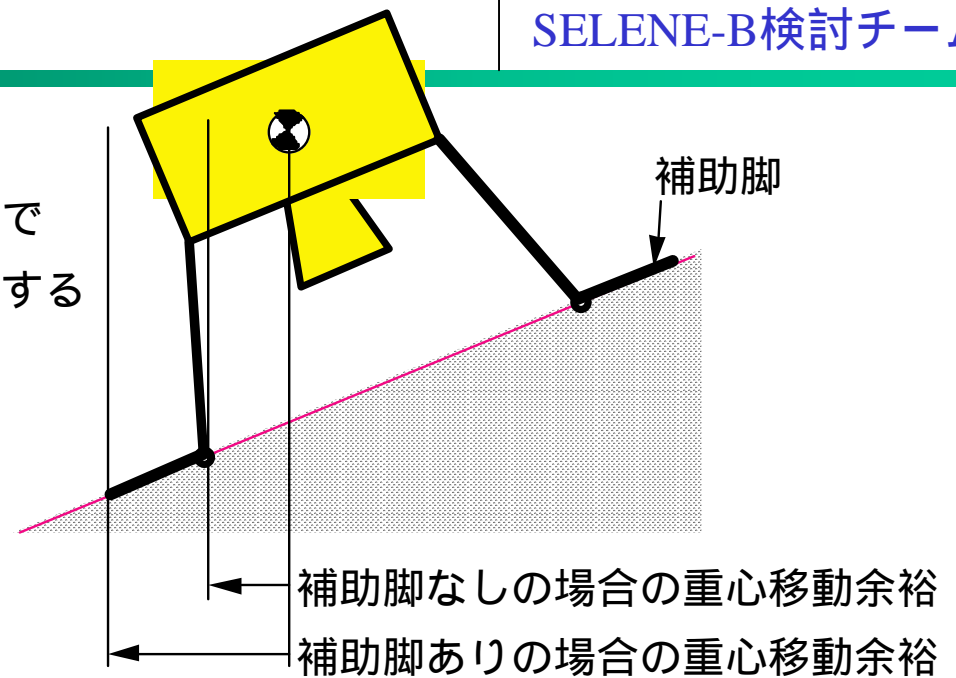
脚がプルームに入りにくい



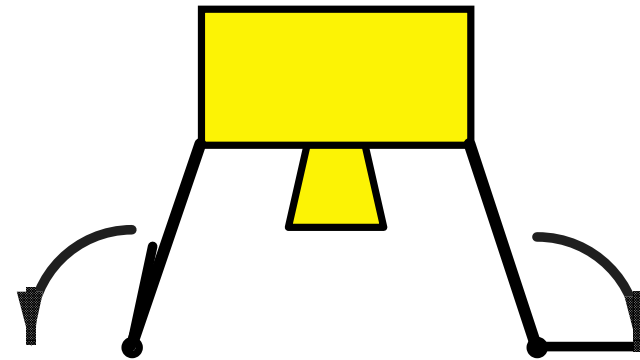
クラッシュストロークが大きく
クラッシュ荷重が小さい場合、
脚弾性で跳ね返る程度を小さくできる、
着地加速度を小さく抑えられる。

また、地面に凸凹があった場合、
最初に接地する脚が大きく
クラッシュするので、ある
程度は俵うことができる。

打ち上げ時のペイロード直径を大きくしないで
転倒可能性を上げるには、脚自体を展開式にする
か、補助脚を収納しておく。
補助脚は地面の局所的凸凹を平滑化する。



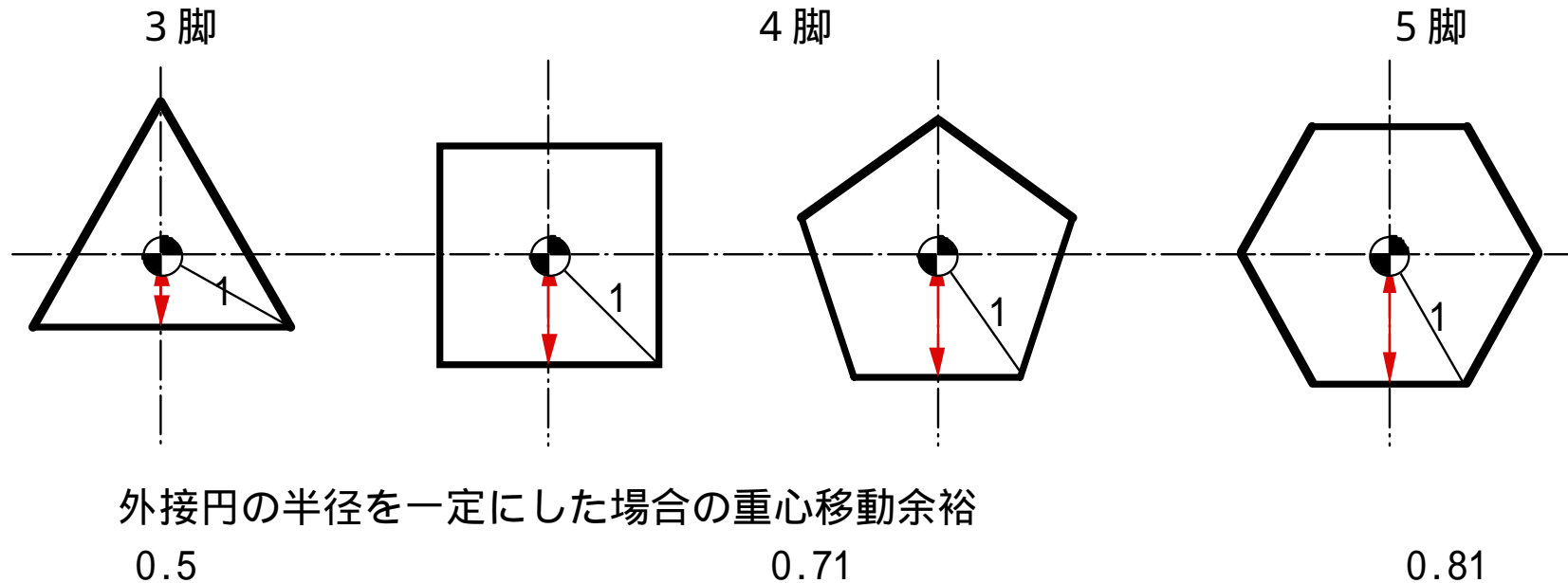
内側から展開
プルームから脚を防護する防護材と兼用できる。
着地時に展開途中だと致命的。



外側から展開
着陸時に完全展開未了でも有害ではない。
(期待した機能は得られない)

多脚化

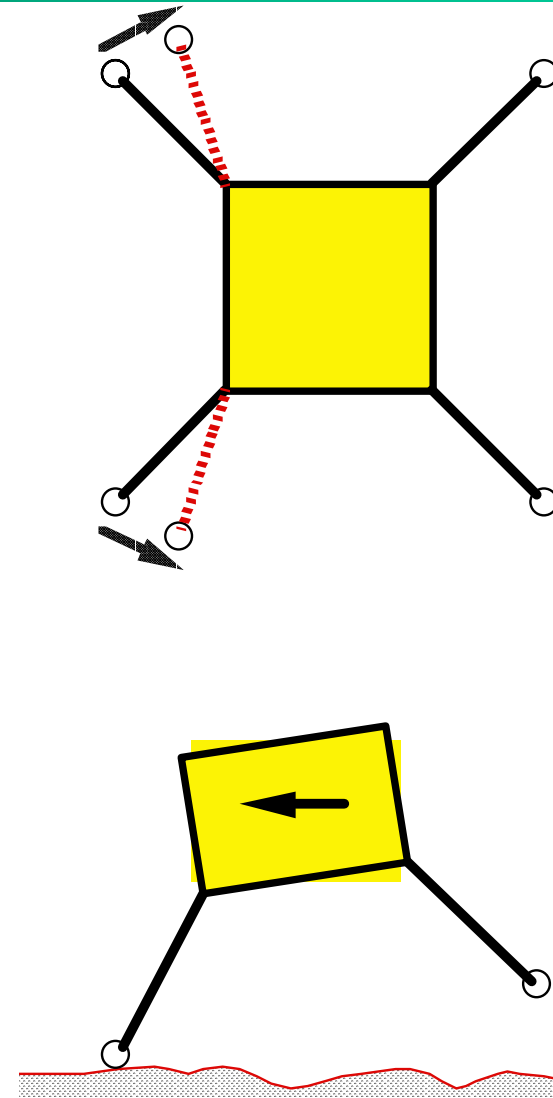
脚は構造系で唯一冗長系を組めるところである



多脚化により、重心移動余裕が増大し、転倒可能性は小さくなる。
 また、1脚不具合時の冗長性も大きくなる。冗長性は脚が破壊した場合のみではなく、障害物に乗り上げた後に横にずれ脚さに著しい不均一さが現れた長た場合にも適用できる。
 なお、脚本数が多い場合は、全脚同時接地した場合の衝撃荷重をある規定値に収めるために1脚あたりの衝撃荷重を小さくするので、脚強度や緩衝装置は小さくて済み、脚の総重量が脚本数に比例して増大するわけではない。

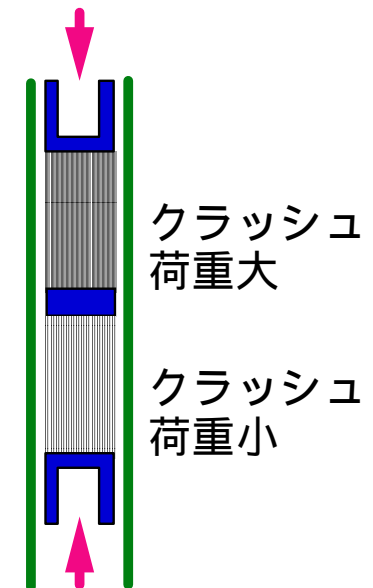
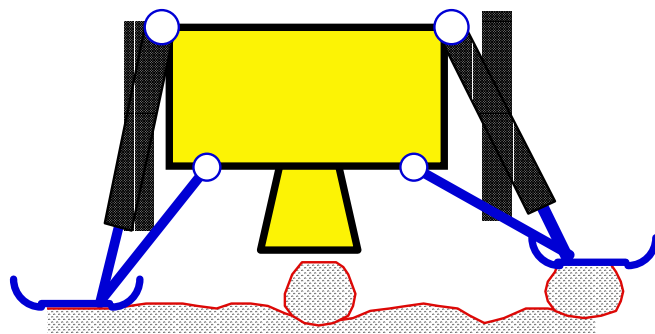
スイングアーム方式
(1軸ハニカムクラッシュ緩衝)

トライポッドカンチレバー方式
(3軸ハニカムクラッシュ緩衝)
より軽い。脚に入る横方向荷重は
着陸ダイナミクスシミュレーション
で予測可能なので、横方向強度も
設計可能。むしろ、脚は横変位し
ない方が転倒防止になるのではない
か。



月着陸機の転倒防止衝撃吸収脚の方式選択例

- ・ スイングアーム方式
- ・ 展開式補助脚
- ・ ハニカムクラッシュ緩衝方式
- ・ クラッシュストローク大きくクラッシュ荷重小さいハニカムを使用
(クラッシュ荷重が小さいと接地後に脚弾性で跳ね上がる可能性小,
地面形状に倣いやすい)
- ・ 脚5～6本



クラッシュストローク底突き防止のために、クラッシュ荷重を2段階（または多段階）にすることも可能