

新固縛指針及び検討表

新固縛指針	調査委員会におけるコメント及び経緯の解説等
<p>放射性物質の自動車運搬に係る積載方法の安全性に関する技術基準の適用指針 (案)</p> <p>平成 23 年 3 月 国土交通省自動車交通局 放射性物質の自動車運搬に係る固縛指針等に関する調査委員会</p>	
<p>はじめに</p> <p>昭和 57 年 3 月に放射性物質自動車運搬技術検討会が、1973 年版 IAEA 輸送規則の適用指針との整合も考慮しつつ、「放射性物質の自動車運搬に係る積載方法の安全性に関する技術基準の適用指針について(報告書)」(以下、「固縛指針」という。)を取りまとめた。以来、我が国における放射性物質の自動車運搬の技術的基準として、安全輸送を行うためには無くてはならないものとなっている。</p> <p>ただ固縛指針は策定されてから既に 29 年が経過しており、放射性物質輸送を取り巻く環境は固縛指針が策定された当時とは大幅に変化し、また IAEA 輸送規則も改訂を重ねてきた。</p> <p>このため今日まで放射性物質輸送の安全性に大いに貢献してきた固縛指針も、現在の視点で一度見直しを図っておく必要があるとの考えから、IAEA 輸送規則との整合性、国内関係法令等との整合性及び輸送方式の変化への対応等について調査を行った。また調査結果を改訂版として取りまとめた。</p> <p>今後改訂版が、放射性物質安全輸送の確保に一層貢献することになれば幸いである。</p> <p>平成 23 年 3 月 放射性物質の自動車運搬に係る固縛指針等に関する調査委員会</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <p>※ 本表における注釈の標記を次の通りとする</p> <p>(解一 ) ⇒ 委員会での発言内容や専門家による意見など</p> <p>(参一 ) ⇒ 関係資料で参考となるもの</p> </div>
<p>目次</p> <p>1. 基本的考え方・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1</p> <p>2. 適用範囲・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1</p> <p>3. 用語の定義・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1</p> <p>4. 固縛方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2</p> <p>    (1) 固縛装置の設計・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2</p> <p>    (2) 固縛装置の設計上の要求事項・・・・・・・・・・・・・・ 3</p> <p>    (3) 積載及び運搬要領における要求事項・・・・・・・・・・ 4</p> <p>おわりに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5</p> <p>参考資料 1 主な固縛用材の使用上の留意事項・・・・・・・・・・ 6</p> <p>    (1) ボルト・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6</p> <p>    (2) ワイヤロープ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6</p> <p>    (3) ターンバックル・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 7</p> <p>    (4) シャックル・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 7</p> <p>    (5) フック・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 7</p>	<p>(解一-1) 新固縛指針では、「旧固縛指針の別添」を参考資料 1 とした。また「参考」として掲載していた「強度計算例」を参考資料 2 とした。</p> <p>(解一-2) 固縛用材のうち現在ほとんど使用されていない「荷締機」は削除し、使用頻度の増加した「ベルトスリング」「アイプレート」や、海上コンテナによる輸送で使用する「すみ金具」「ツイストロック等」を加えた。なお当初海上コンテナも固縛用材に含める案が出されたが、海上コンテナ自体は固縛用材ではないので原文のままとした。</p>

新固縛指針	調査委員会におけるコメント及び経緯の解説等
(6) 環フック…………… 8 (7) チェーン…………… 8 (8) レバーブロック…………… 8 (9) ベルトスリング…………… 9 (10) アイプレート…………… 9 (11) すみ金具、ツイストロック等 …… 9 参考資料 2 強度計算例…………… 10 (1) ボルトによる固縛…………… 10 (2) ワイヤロープによる固縛（止め木有り） …… 12 (3) ワイヤロープによる固縛（止め木無し） …… 14 (4) ワイヤロープ(8 本)による固縛（止め木有り） …… 16	
放射性物質の自動車運搬に係る積載方法の安全に関する技術基準	
輸送物等は、運搬中において移動、転倒、転落等により、輸送物の安全性が損なわれないように積載しなければならない。 運輸省令 核燃料物質等車両運搬規則第 4 条第 2 項 放射性同位元素等車両運搬規則第 4 条第 2 項	
放射性物質の自動車運搬に係る積載方法の安全に関する技術基準の適用指針	
1.基本的考え方 ① 通常状態において走行に伴って発生する慣性力によって、輸送物が移動または転倒しないこと。 ② 通常予想される交通事故時において衝突に伴って発生する慣性力によって、輸送物が車両から脱落することがないこと。 ③ 事故時等に固縛装置に発生する過大な荷重によって、輸送物とその性能を阻害されることがないこと。 注 「移動」には、ロープの伸び等に伴う微小な移動及び積載方法の機構に起因する移動を含まない。	(参一1) IAEA 輸送規則助言文書 TS-G-1.1 付録IVの IV.3.及びIV.1.1 には固縛に関する基本的考え方が記載されている。

新固縛指針	調査委員会におけるコメント及び経緯の解説等	
<p>2.適用範囲 この適用指針は、BU型輸送物、BM型輸送物、A型輸送物、IP-3型輸送物、IP-2型輸送物、IP-1型輸送物、L型輸送物並びにこれらの核分裂性輸送物及び六ふっ化ウラン輸送物の積載について適用する。</p> <p>3.用語の定義 本適用指針に用いる用語の定義は関係法令によるほか、次によるものとする。</p> <p>① 輸送物……………核燃料輸送物及び放射性輸送物（オーバーパック及びこれらが収納されているコンテナを含む）</p> <p>② 固縛……………輸送物を車両に固定または留めること</p> <p>③ 固縛装置等……………固縛するための用具の総称</p> <p>④ アタッチメント…輸送物に取付けられている固縛のための金具等</p> <p>④ 止め木……………車両に取付けられた輸送物の滑動を防止するための木または金具</p> <p>⑤ 単独固縛……………個々の輸送物について、それぞれ個別に固縛すること</p>	<p>(解-3) 実態として頻繁に輸送が行なわれているL型輸送物についても、適用範囲とした。</p> <p>(解-4) 新固縛指針では、旧固縛指針の編纂後に法令に取り入れられたIP-3型輸送物、IP-2型輸送物及びIP-1型輸送物を適用範囲とした。</p> <p>(解-5) 新固縛指針では、旧固縛指針の編纂後、国土交通省の運搬確認の対象となり、耐火試験が課されている100g以上の六フッ化ウランが収納された輸送物「六ふっ化ウラン輸送物(核事業所外運搬規則第12条第2項)」を適用範囲とした。</p> <p>(解-6) C型輸送物は、現在わが国の関係法令には取り入れられておらず、適用範囲に含まれないものとした。</p> <p>(参-2) 適用範囲に該当する各輸送物の固縛方法に関しては「4. 固縛方法 (3) 積載及び運搬要領における要求事項」の冒頭部分を参照。概要は以下の通り。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・L型輸送物は固縛指針の適用範囲とするが、通常時条件の適用輸送物としない。</li> <li>・IP-3型輸送物、IP-2型輸送物は固縛指針の適用範囲とし、通常時条件の適用輸送物とする。</li> <li>・IP-1型輸送物は固縛指針の適用範囲とするが、通常時条件の適用輸送物としない。ただし可能な限り通常時条件により固縛することが望ましい。</li> </ul> <p>(解-7) 新固縛指針では、固縛の対象となるのは輸送物のほか、オーバーパック及びこれらが収納されているコンテナにも固縛が必要であることから「（オーバーパック及びこれらが収納されているコンテナを含む）」という文言を括弧書きで付記した。ただしこの場合の「コンテナ」においては、コンテナを専用に積載するための物品積載装置を有する車両によって輸送されるコンテナと車両の緊締装置については除かれるものとする。</p> <p>(参-3) IAEA輸送規則TS-R-1では輸送物(230項)と運搬物(210項)を定義している。</p>	
<p>4.固縛方法</p> <p>(1) 固縛装置の設計 固縛装置は、下記に示す通常時条件及び事故時条件において作用する場合に発生する力に耐える強度を有していなければならない。</p> <p>ただし、速度を制限することによって、明らかに下表の加速度を生ずることがない場合には、これによらないことができる。</p> <p>① 通常時条件</p> <p>ア) 固縛装置は、表aの適用輸送物について、表bに示すそれぞれの方向の加速度が同時に作用する場合に発生する力に耐える強度を有しなければならない。</p> <p><b>表a適用輸送物</b></p> <table border="1" data-bbox="365 1193 893 1294"> <tr> <td>           BU型輸送物、BM型輸送物、A型輸送物、            IP-3型輸送物、IP-2型輸送物、            核分裂性輸送物、六ふっ化ウラン輸送物、         </td> </tr> </table> <p>※ L型輸送物及びIP-1型輸送物については(3)参照</p>	BU型輸送物、BM型輸送物、A型輸送物、 IP-3型輸送物、IP-2型輸送物、 核分裂性輸送物、六ふっ化ウラン輸送物、	<p>(解-8) 旧固縛指針において(1)では、内容的に設計の条件、考え方が述べられていることから、新固縛指針では、内容に合わせたタイトル「固縛装置の設計」とした。また、旧固縛指針では、「(1)-②固縛装置の事故時条件による確認」の内容が事故時条件を対象としていることから、これとの対比させる形で、旧固縛指針の「(1)-①固縛装置の必要強度」は通常時条件に関する記載となっていることは明白である。したがって新固縛指針では、①のタイトルを「通常時条件」とし、通常時条件の適用輸送物と設定加速度の内容を明示した。</p> <p>(解-9) 新固縛指針では、IP-3型輸送物、IP-2型輸送物及び六ふっ化ウラン輸送物を通常時条件の適用輸送物に加えた。</p> <p>L型輸送物については輸送の実態に鑑み、運搬に際しての注意事項を守ることが条件に固縛の義務を免除する構成とし、通常時条件の適用輸送物とはせず、取扱い上の注意事項について述べることとした。</p> <p>またIP-1型輸送物については通常時条件の適用輸送物とせず、可能な限り通常時条件により固縛することを促す内容とした。</p> <p>したがって表aでは、BU型輸送物、BM型輸送物、A型輸送物、IP-3型輸送物、IP-2型輸送物及び六ふっ化ウラン輸送物及び核分裂性輸送物を適用輸送物として明示した上で、L型輸送物及びIP-1型輸送物については(3)の記述を参照するよう表外に補足した。</p> <p>なお、現在わが国の関係法令には取り入れられていないC型輸送物は、固縛指針の適用範囲には含まれず、通常時条件の適用輸送とはならないものとした。</p>
BU型輸送物、BM型輸送物、A型輸送物、 IP-3型輸送物、IP-2型輸送物、 核分裂性輸送物、六ふっ化ウラン輸送物、		

新固縛指針

調査委員会におけるコメント及び経緯の解説等

表b設定加速度

上下方向	2G <sup>(*)</sup>
前後方向	2G
左右方向	1G

(\*) 重力加速度は含まず

ただし、50kg未満のA型輸送物、IP-3型輸送物及びIP-2型輸送物を非開放型の車両により運搬する場合、運搬中において移動、転倒、転落等により、輸送物の安全性が損なわれないように積載し、かつ、輸送物が車両より逸脱しないよう措置が講じられている場合は、これらの措置を固縛に代えることができる。

(解-10) IAEA 輸送規則 TS-R-1 の 636 項には、A 型輸送物の要件の一つとして固縛要件が記載されており、C 型輸送物 (667 項による 636 項の引用)、BU 型輸送物 (650 項による 636 項の引用)、BM 型輸送物 (665 項による 650 項の引用) 及び IP-3 型輸送物 (623 項による 636 項の引用) に適用している。

更に IAEA 輸送規則助言文書 TS-G-1.1 附属 IV.1.1 における TS-R-1 636 項の解説では、固縛要件が適用される輸送物として、C 型輸送物、BU 型輸送物、BM 型輸送物及び IP-3 型輸送物を挙げていることから新固縛指針では、IP-3 型輸送物を通常時条件の適用輸送物に加えた。

また IP-2 型輸送物には IP-3 型輸送物と同様、A 型輸送物の一般の試験条件のうち貫通試験を除く自由落下試験が課されており、新固縛指針では IP-2 型輸送物を通常時条件の適用輸送物に加えた。

一方 IP-1 型輸送物には自由落下試験は課されないが、表面における最大線量当量率の限度が 2mSv/h と A 型輸送物と同等であり、同限度が 5 $\mu$ Sv/h の L 型輸送物とは同列に扱うことは出来ない。したがって新固縛指針では、IP-1 型輸送物を通常時条件の適用輸送物とはしないものの、「輸送の量、頻度を考慮し、可能な限り固縛要件に基づいて固縛することが望ましい」とした。

(解-追加) 設定加速度に関する旧固縛指針の記載では、上下方向の加速度 2G に重力加速度が含まれるか否かの解釈で相違の生じる恐れがあることから新固縛指針では、4-(1)-①-ア) 「表 b 設定加速度」の欄外に「(\*) 重力加速度は含まず」とのただし書きを加えた。

すなわち「固縛装置の設計」における上下方向 2G の適用に際しては、重力加速度 1G の影響を考慮し、上方向 1G (2G-重力加速度 1G=1G)、下方向 3G (2G+重力加速度 1G=3G) で設計するものとした。

(参-4) 通常条件を適用する輸送物

表 通常条件を適用する輸送物

輸送物の区分	右欄(a)(b)に該当しない輸送物	(a)核分裂性輸送物	(b)六ふっ化ウラン輸送物
BU 型輸送物	適用	適用	適用
BM 型輸送	適用	適用	適用
A 型輸送物	適用 (**)	適用	適用
IP-3 型輸送物	適用 (**)	適用	適用
IP-2 型輸送物	適用 (**)	適用	適用
IP-1 型輸送物	—	—	適用
L 型輸送物	—	—	適用

(\*\*) 50kg未満のA型輸送物、IP-3型輸送物及びIP-2型輸送物を非開放型の車両により運搬する場合、運搬中において移動、転倒、転落等により、輸送物の安全性が損なわれないように積載し、かつ、輸送物が車両より逸脱しないよう措置が講じられている場合は、「これらの措置を固縛に代えることができる」の適用が可能となる。

1個50kg近い輸送物を、パレットに積付た後ラップ巻きした状態等で、転落、飛散等のないよう非開放型の車両に積載し輸送する場合は、1個50kg以下の輸送物として取り扱うものとし、これらの輸送物をオーバーパックとするか否かは問わないものとする。なおラッピングに際しては、万一荷崩れした場合でも飛散しないように厳重に措置することとする。

新固縛指針	調査委員会におけるコメント及び経緯の解説等	
<p>い) 固縛装置の強度の計算の基本となる荷重は、JIS 等に定める使用荷重とする。特に定めのないものについては、その破壊荷重を適切な安全係数で除した許容荷重とする。</p> <p>②事故時条件</p> <p>ア) 事故時とは自損事故による正面衝突の場合を指すものとし、この場合固縛装置は、事故時を想定し設計されている以下の適用輸送物のいずれかに該当する輸送物については、前方向約 10 G（他の一般交通の規制などにより明らかに事故被害の軽減が図られる場合は相当な値）によって発生する力が作用した場合において安全上問題がないことを確認しなければならない。</p> <p>なお、この場合における後方向及び左右方向についても、適切な数値をもって確認しなければならない。</p> <p style="text-align: center;">表c適用輸送物</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="text-align: center;">BU 型輸送物、BM 型輸送物、 核分裂性輸送物、六ふつ化ウラン輸送物</td> </tr> </table>	BU 型輸送物、BM 型輸送物、 核分裂性輸送物、六ふつ化ウラン輸送物	<p>(解-10) 旧固縛指針では、「すべての輸送物に対して、当該の加速度に対する評価を行い適切に固縛する」とも読み取れるが、実際には A 型輸送物及び IP-3 型輸送物及び IP-2 型輸送物を非開放型の車両（バン型車両等）により運搬する場合（この様な場合においても固縛装置に代わる手段での固縛は必要であることから）、適切な措置を取った上で固縛装置を使用しない輸送物が一般的に行われているという現状に鑑み、このような現状を妨げないため追記した。</p> <p>また今回、そのような実状を考慮し、輸送物の単体重量の限度を、機械的手段に依らなくても良い 50kg 未満とした。根拠は以下に依った。</p> <p>a. IAEA 輸送規則助言文書 TS-G-1.1 (DS346) 537.1.1 に機械的手段を用いるべき場合として 50kg 以上としていることを参考に、人力で動かすことが出来る重量程度であって、別途必要な措置を講ずることで安全性が確保できるのであれば、固縛装置は必要ないと考えられること。</p> <p>b. 現状の輸送実態（例えば輸送パレットに載せた状態で荷台の側壁等を利用して積載する輸送）を反映できること。</p> <p>(参-5) 検討の途上では、「比較的軽い A 型輸送物あるいは IP-3 型輸送物及び IP-2 型輸送物」との表現も試みられたが、「比較的軽い」という表現が曖昧であることから、IAEA 輸送規則助言文書 TS-G-1.1 (DS 346) 537.1.1 で、機械的手段を用いるべき場合として 50kg 以上としていることを踏まえ、新固縛指針では「比較的軽い」の代わりに、機械的手段に頼らなくても良い「50kg 未満」と記載することにした。</p> <p>(※ わが国の労働基準法の通達「職場における腰痛予防対策の推進について」（基発第 547 号平成 6 年 9 月 6 日）では、「満 18 歳以上の男子労働者が、通常、人力のみにより取り扱う場合の重量は、55kg 以下にすること。」となっており、55kg を超える重量物を取り扱う場合には、2 人以上で行なうよう指導している。)</p> <p>(解-11) 旧固縛指針では、事故時の要件である特別の試験条件が課せられる BU 型輸送物あるいは BM 型輸送物と、同試験条件が課されない A 型輸送物とを、固縛に関し一律の基準を要求している、あるいは要求しているように読み取れ、旧固縛指針の記載は合理的ではないとの考えから新固縛指針においては、IAEA 輸送規則の考えに沿って適用輸送物を明確にした。</p> <p>ところで旧固縛指針における事故時条件での設定加速度は、前方向（約 10G）のみが提示され、後方向及び左右方向については「適切な数値」を設定することとなっているが、この数値を具体的に示すことは可能かとの論議があった。</p> <p>放射性輸送物を運搬する車両の場合、車両の側面に別の車両が衝突した場合は、左右方向の設定加速度は非常に大きな数値となると思われるが、現固縛指針ではこれを「適切な数値」と表現していることから、事故を正面衝突に限定しているものと判断される。すなわち、事故時前方向約 10G という設定加速度は、車両の自損事故による正面衝突を前提としているものと解釈することが適当である。</p> <p>その上で、仮に車両が正面衝突を起こした場合、実際は前方向以外にもある程度の加速度が生じると判断することが妥当である。その加速度を旧固縛指針では「適切な数値」と表現したと判断される。しかし今回、これらの数値を具体的に明記することが難しかったことから、現状の規制で行われていることを妨げないとの理由から新固縛指針では、旧固縛指針の文言を使用した。</p>
BU 型輸送物、BM 型輸送物、 核分裂性輸送物、六ふつ化ウラン輸送物		

新固縛指針

調査委員会におけるコメント及び経緯の解説等

(参-6) 「10G」については委員より、旧固縛指針作成当時、わが国で行われた衝突実験の結果を基に設定されたとの情報があったが、裏づけとなる資料は見当たらなかった。

(参-7) 事故時条件を適用する輸送物

事故時条件を適用する輸送物

輸送物の区分	右欄(a)(b)に該当しない輸送物	(a)核分裂性輸送物	(b)六ふっ化ウラン輸送物
BU 型輸送物	適用	適用	適用
BM 型輸送物	適	適用	適用
A 型輸送物	—	適用	適用
IP-3 型輸送物	—	適用	適用
IP-2 型輸送物	—	適用	適用
IP-1 型輸送物	—	—	適用
L 型輸送物	—	—	適用

(参-8) IAEA 輸送規則では事故時条件としての記載は無い。

(解-12) 論議の途上、A 型輸送物で気体・液体状の放射性物質を収納したもの、あるいは固体状のLSA-IIIを収納したIP-3 型輸送物には、一般の試験条件に加え追加の試験条件が課されているとの理由から、気体・液体・固体に区分した上で、追加の試験条件を特別の試験条件に準じる扱いとし事故時条件を適用することも検討した。

しかしながら、追加の試験条件は特別の試験条件ではないので、新固縛指針では、A 型及びIP-3 型輸送物については事故時条件を適用せず、通常時条件のみとした。

1) 固縛装置の強度の確認の基本となる荷重は、破壊荷重とする。

(2) 固縛装置の設計上の要求事項

- ① 固縛装置の強度計算においては、輸送物と車両の間に働く摩擦力は、原則として無視して計算すること。
- ② 固縛装置は、それに発生可能な最大荷重によって、アタッチメントを除く輸送物のいかなる部位にも降伏強度を超える応力を発生させないこと。なお、アタッチメントを使用する場合にあつては、アタッチメントの破壊強度は、固縛装置の破壊強度より大きくなければならない。
- ③ 固縛用材は、JIS 規格品等その品質が信頼できるものを用いるとともに、使用にあたっては、当該用材の特質を十分配慮しなければならない。(参項資料-1 参照)
- ④ 車両のフレーム、荷台等は、固縛に使用する場合、4(1)①及び4(1)②に規定する強度を有しなければならない。
- ⑤ 重量輸送物は、ボルト固定による単独固縛とすることが望ましい。
- ⑥ 輸送物の複数個を単独固縛以外の方法で固縛する場合は、必要に応じて輸送物間で衝突エネルギーの分散を考慮した配置としなければならない。
- ⑦ 固縛の設計にあたっては、その施工が確実にできるような作業性について配慮しなければならない。
- ⑧ 固縛の設計にあたっては、ワイヤロープ等の引張部材が車両等に接触しないように配慮しなければならない。

(解-13) 新固縛指針では、通常時条件で「50kg 未満のA型輸送物、IP-3 型輸送物及びIP-2 型輸送物を非開放型の車両により運搬する場合」を明記したので、旧固縛指針にあった「ダンボール等の軽量の輸送物」との記載は削除した。

(参-9) IAEA 規則助言文書では固縛装置の最大強度に付いて、TS-G-1.1 付録IV IV.5.に記載されている。

(参-10) IAEA 規則助言文書では固縛装置の強度計算に付いて、TS-G-1.1 付録IV IV.15.及びIV.20.に記載されている。

(解-14) 「複数個の輸送物を単独固縛以外の方法で固縛する場合」に関する旧固縛指針の記載「比較的重量のある輸送物(UO<sub>2</sub>粉末ドラム缶等)」について新固縛指針では、「比較的重量のある」との曖昧な表現を避けると共に、「輸送物(UO<sub>2</sub>粉末ドラム缶等)」についても収納物を限定する必要はないとの判断から括弧内を削除し単に「輸送物」とした。

新固縛指針	調査委員会におけるコメント及び経緯の解説等
<p>(3) 積載及び運搬要領における要求事項</p> <p>L型輸送物及びIP-1型輸送物については、運搬中において移動、転倒、転落等により、輸送物の安全性が損なわれないように積載しなければならない。</p> <p>BU型輸送物、BM型輸送物、A型輸送物、IP-3型輸送物、IP-2型輸送物、核分裂性輸送物及び六ふっ化ウラン輸送物は、これに加え該当する次の要件を満たさなければならない。またIP-1型輸送物においても可能な限り満たすことが望ましい。</p> <p>① 重量輸送物の固縛をワイヤロープ等の引張部材による場合は、可能な限り止め木を併用すること。この場合、輸送物と止め木間にすき間が生じないようにすること。</p>	<p>(解-15) L型輸送物及びIP-1型輸送物に関する運搬上の注意事項（運搬中において移動、転倒、転落等により、輸送物の安全性が損なわれないように積載しなければならない）については、当初通常時条件の中に記載するべきであるとの意見もあったが、新固縛指針では「(3) 積載及び運搬要領における要求事項」において示すこととした。</p> <p>またIP-1型輸送物については、通常時条件の適用輸送物としないものの、「(3) 積載及び運搬要領における要求事項」において、輸送の量（輸送物の重量、体積及び数量）、頻度を考慮する場合を想定し、新固縛指針では「可能な限り固縛要件に基づいて固縛することが望ましい」とした。</p> <p>(参-11) IAEA 輸送規則助言文書では固縛装置の構造に付いて、TS-G-1.1 付録IV IV.5.及びIV.7.に記載されている。</p> <p>(参-12) その他（部材の規格及び使用上の留意事項）に付いてIAEA 規則TS-G-1.1 付録IV IV.7.に記載されている。</p>
<p>② 固縛にあたっては、固縛用材が仕様と合致していること及び健全であることを確認しなければならない。</p> <p>③ 固縛装置は、弛緩のないように十分な張力を与えておかなければならない。</p> <p>④ 輸送開始前において固縛装置の点検を実施するとともに、輸送途中の休憩時においても適宜点検を実施しなければならない。</p> <p>⑤ 追突事故時等に輸送物が直接衝撃を受けないよう荷台後端との間に空間を設けなければならない。</p> <p>⑥ 車両の偏った位置、特に後車軸の後方に集中的に積載してはならない。</p> <p>⑦ 車両は、走行安定性及び輸送物の安全性の確保を図るため、輸送物の内容、形状、重量等を配慮して選定しなければならない。</p> <p>⑧ 海上コンテナ等の使用において、当該定格荷重が定められているものについては、その荷重範囲内で運用しなければならない。</p>	<p>(参-13) IAEA 輸送規則助言文書では輸送物の積載位置に付いて、TS-G-1.1 付録IV IV.16に記載されている。</p> <p>(解-16) 新固縛指針では、通常時条件で「50kg未満のA型輸送物、IP-3型輸送物及びIP-2型輸送物を非開放型の車両により運搬する場合」を明記したので、旧固縛指針の記載「ダンボール等の軽量の輸送物」は、この通常時条件に含まれることから削除した。</p> <p>(参-14) IAEA 輸送規則には輸送物の配置に付いての記載は無い。</p> <p>(解-17) 論議の中では、海上コンテナ等の使用で定格荷重の限度を超えた使用がなされることは運用上有り得ないとの意見もあったが、新固縛指針で明記することとした。</p> <p>(参-15) 車両の選定に付いてIAEA 規則では、TS-G-1.1 付録IV IV.7.に記載されている。</p>
<p>おわりに</p> <p>調査委員会の構成は下記のとおりである</p> <p>御協力をいただいた関係各位の皆様に深く感謝の意を表するものである。</p> <p>平成20年度及び平成22年度</p>	

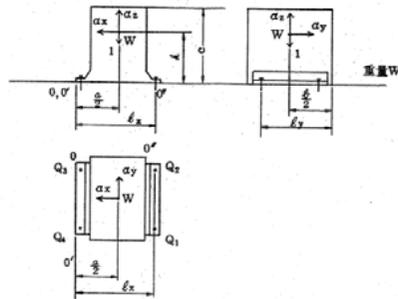
新固縛指針	調査委員会におけるコメント及び経緯の解説等
<p style="text-align: center;">放射性物質の自動車運搬に係る固縛指針等に関する調査委員会 委員名簿</p> <p>委員長 伊藤千浩 財団法人電力中央研究所 地球工学研究所バックエンド研究センター副所長 (平成 20 年度、平成 22 年度)</p> <p>委員 安立辰幸 株式会社上組 重量エネルギー輸送本部 エネルギー二部 部長 (平成 20 年度、平成 22 年度)</p> <p>委員 宇根崎博信 大学法人京都大学 原子炉実験所 原子力基礎工学研究部門 教授 (平成 20 年度)</p> <p>委員 後藤一郎 株式会社グローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン ウラン燃料センター 業務部 輸送課 担当課長 (平成 22 年度)</p> <p>委員 関根邦敏 社団法人 日本アイソトープ協会 医薬品・アイソトープ部 放射線源課 専門職 (平成 20 年度、平成 22 年度)</p> <p>委員 中谷正輝 株式会社エヌ・エフ・ティ・エス輸送部 係長 (平成 20 年度)</p> <p>委員 広瀬誠 原燃輸送株式会社 技術部マネージャー (平成 20 年度、平成 22 年度) (五十音順)</p>	
<p style="text-align: center;">昭和 57 年 放射性物質自動車運搬技術検討会 委員名簿</p> <p>委員長 島村昭治 通商産業省工業技術院機械技術研究所材料工学部長</p> <p>委員 兼重一郎 社団法人日本自動車工業会安全公害委員会委員</p> <p>委員 菊池三郎 動力炉・核燃料開発事業団核燃料部主査</p> <p>委員 後藤健一 財団法人日本自動車研究所理事</p> <p>委員 佐藤 隆 運輸省交通安全公害研究所交通安全部事故解析研究室長</p> <p>委員 武村祥夫 社団法人日本アイソトープ協会医薬品部長</p> <p>委員 田ノ上家久 財団法人放射線安全技術センター技術部長</p> <p>委員 橋本清一 財団法人全日本トラック協会常務理事</p> <p>委員 森川尚威 東京大学アイソトープ総合センター助教授 (五十音順)</p>	
<p>参考資料 1 主な固縛用材の使用上の留意事項 (1).ボルト</p> <p>① ボルトは、次の事項を満足するものでなければ使用してはならない。 ア) ボルト、ナット、座金を 1 組として、円滑に組合わさること。 イ) ボルト、ナットのそれぞれのネジ部に著しい損傷、摩耗がないこと。</p> <p>② 特に短距離以外の輸送、悪路での輸送等にあつては、輸送中の緩みを防止するため、ダブルナット、パネ座金等を使用しなければならない。</p> <p>③ ボルトの締付けが均等になるよう留意しなければならない。 参考：関連する JIS の規格例を示す。 B 1180 六角ボルト、B 1181 六角ナット、B 1251 ばね座金、B 1252 平座金、B 1051 (炭素鋼及び合金鋼製締結用部品の機械的性質-第 1 部：ボルト、ねじ及び植込みボルト B 1186 摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット</p>	<p>(解-18) 新固縛指針では、固縛用材で JIS によって定められているものについては極力規格番号を記載することとした。また以前は使用したものの現在ではほとんど使用されていない「荷締機」などをはずし、旧固縛指針に記載が無いが使用頻度が高い「ベルトスリング」「アイプレート」を加えた。</p> <p>(参-16) IAEA 輸送規則助言文書ではボルトに関し、TS-G-1.1 付録IV IV.4.に記載されている。</p> <p>(参-17) ボルトに関する J I S には、B 1 1 8 0 (六角ボルト)、B 1 1 8 1 (六角ナット)、B 1 2 5 1 (ばね座金)、B 1 2 5 2 (平座金)、B 1 0 5 1 (炭素鋼及び合金鋼製締結用部品の機械的性質-第 1 部：ボルト、ねじ及び植込みボルト)、B 1 1 8 6 (摩擦接合用高力六角ボルト・六角ナット・平座金のセット) がある。</p>

新固縛指針	調査委員会におけるコメント及び経緯の解説等
<p>(2).ワイヤロープ</p> <p>① ワイヤロープは、次の事項を満足するものでなければ使用してはならない。</p> <p>ア) 一よりの間において素線の数の10%以上の素線が切断しているものでないこと。</p> <p>イ) 直径の減少が公称径の7%以上でないこと。</p> <p>ウ) キンクしたものでないこと。</p> <p>エ) 著しく形くずれ又は著しい腐食がないこと。</p> <p>オ) 端末止め部が確実に施行され、かつ異状がないこと。</p> <p>② 鋭利な角を有する物や、ワイヤロープを傷め易い物を固縛する場合は、当金具等を用いなければならぬ。</p> <p>③ ワイヤロープの使用にあたっては、端末の止め方、曲げ引張等による強度の低下を考慮しなければならぬ。</p> <p>参考：関連するJISの規格例を示す。</p> <p>G 3525 ワイヤロープ、B 8817 ワイヤロープスリング</p> <p>(3).ターンバックル</p> <p>ターンバックルは、次の事項を満足するものでなければ使用してはならない。</p> <p>① ターンバックル胴、ターンバックルボルトは、円滑に組合わさること。</p> <p>② ターンバックル胴、ターンバックルボルトはネジ部に著しい損傷、摩耗のないこと。</p> <p>③ 軸心の偏心、曲りのないこと。</p> <p>④ アイボルト部の断面径の減少が公称径の10%以上でないこと。</p> <p>⑤ アイボルト部の内長増が5%以上でないこと。</p> <p>参考：関連するJISの規格例を示す。</p> <p>F 3307 アンカーストッパ F3310 小型アンカーストッパ F7020 船用アイボルト付ターンバックル</p> <p>(4).シャックル</p> <p>シャックルは、次の事項を満足するものでなければ使用してはならない。</p> <p>① 強度に影響を与えるような有意な変形が認められないこと。</p> <p>② 本体及びピンに変形がないこと。</p> <p>③ 本体及びピンのネジ部に著しい損傷、摩耗のないこと。</p> <p>④ ピン穴とピンとのがたがないこと。</p> <p>参考：関連するJISの規格例を示す。</p> <p>B2801 シャックル</p> <p>(5).フック</p> <p>フックは、次の事項を満足するものでなければ使用してはならない。</p> <p>① 断面径の減少が公称径の10%以上でないこと。</p> <p>② 強度に影響を与えるような有意な変形が認められないこと。</p> <p>参考：関連するJISの規格例を示す。</p> <p>F 2105 船用荷役フック F 2803 フック</p> <p>(6).環フック</p> <p>環フックは、次の事項を満足するものでなければ使用してはならない。</p>	<p>(参-18) IAEA 輸送規則助言文書ではロープに関し、TS-G-1.1 付録IV IV.4.に記載されている。(参-19) ワイヤーに関するJISには、G 3525 (ワイヤロープ)、B 8817 (ワイヤロープスリング)がある。</p> <p>(参-20) ターンバックルに関するJISには、F 3307 (アンカーストッパ)、F 3310 (小型アンカーストッパ)、F 7020 (船用アイボルト付きターンバックル)がある。</p> <p>(参-21) シャックルに関するJISには、B 2801 (シャックル)がある。</p> <p>(参-22) フックに関するJISには、F 2105 (船用荷役フック)、B 2803 (フック)がある。</p> <p>(参-23) 環フックに関するJISは無い。</p>

新固縛指針	調査委員会におけるコメント及び経緯の解説等
<p>① 断面径の減少が公称径の 10 %以上でないこと。  ② リングの内長増が 5 %以上でないこと。</p> <p>(7).チェーン  チェーンは、次の事項を満足するものでなければ使用してはならない。  ① 断面径の減少が公称径の 10 %以上でないこと。  ② 長さの増が 5 %以上でないこと。  参考：関連する JIS の規格例を示す。  <b>F 2106 船用一般チェーン</b></p> <p>(8).レバーブロック  レバーブロックは、事項を満足するものでなければ使用してはならない。  ① 円滑に作動すること。  ② ラチェットの歯車、爪のかみ合わせに異常がないこと。  参考：関連する JIS の規格例を示す。  <b>B 8819 チェーンレバーホイスト</b></p> <p>(9).ベルトスリング  ① 全幅にわたって縫目がわかり、たて糸の損傷及び縁の部分のたて糸の損傷、著しい毛羽立ちがないこと。  ② 目立った切り傷、すり傷、引っかけ傷などがないこと。  ③ 縫製部の剥離がないこと。  参考：関連する JIS の規格例を示す。  <b>B 8818 ベルトスリング</b></p> <p>(10).アイプレート  ① 強度に影響を与えるような有意な変形が認められないこと。  ② 目立った損傷、摩耗のないこと。</p> <p>(11).すみ金具、ツイストロック等  ① コンテナは下部の四つのすみ金具を用いて車体に支持・緊縛すること。  ② すみ金具、ツイストロックについては JIS の規格(ISO 規格)の基準を満たすものを使用すること。  参考：関連する JIS の規格例を示す。  <b>Z 1616 国際貨物コンテナすみ金具</b></p>	<p>(参-24) チェーンに関し IAEA 規則では、TS-G-1.1 付録IV IV.4.に記載されている。  (参-25) チェーンに関する J I S には、F 2 1 0 6 (船用一般チェーン) がある。</p> <p>(参-26) レバーブロックに関する J I S には、B 8 8 1 9 (チェーンレバーホイスト) がある。</p> <p>(参-27) ベルトスリングに関する J I S には、B 8 8 1 8 (ベルトスリング) がある。</p> <p>(参-28) アイプレートに関する J I S には、B 3 4 1 0 (船用オーバーアイプレート) 、B 3 4 1 5 (船用ワイヤーロープステーアイプレート) がある。</p> <p>(参-29) 海上コンテナの部材に関する J I S には、Z 1 6 1 6 (国際海上コンテナすみ金具) 、Z 1 6 2 9 (貨物コンテナ上部つり上げ金具) 、Z 1 6 2 6 (国際大型コンテナの取扱い) がある。</p>

参考資料2 強度計算例

(1) ボルトによる固縛



S : ボルト断面積 (1本)

加速度 $\alpha_x$ によって生じる力には、 $Q_1$ と $Q_2$ が等しく耐える。

$$\therefore Q_{1x} = Q_{2x}$$

加速度 $\alpha_y$ によって生じる力には、 $Q_1$ と $Q_4$ が等しく耐える。

$$\therefore Q_{1y} = Q_{4y}$$

ボルト1に最大の引張力が生じる。

$$Q_1 = Q_{1x} + Q_{1y}$$

OO' を支点とする転倒を考えると、

$$W \alpha_x h + W \alpha_z \frac{a}{2} - W \frac{a}{2} = 2Q_{1x} l_x$$

$$\therefore Q_{1x} = \frac{W}{4} \cdot \frac{2\alpha_x h + (\alpha_z - 1)a}{l_x}$$

OO'' を支点とする転倒を考えると、

$$W \alpha_y h + W \alpha_z \frac{b}{2} - W \frac{b}{2} = 2Q_{1y} l_y$$

$$\therefore Q_{1y} = \frac{W}{4} \cdot \frac{2\alpha_y h + (\alpha_z - 1)b}{l_y}$$

$$Q_1 = Q_{1x} + Q_{1y}$$

$$= \frac{W}{4} \cdot \left\{ \frac{2\alpha_x h + (\alpha_z - 1)a}{l_x} + \frac{2\alpha_y h + (\alpha_z - 1)b}{l_y} \right\}$$

よってボルト1に生じる引張応力は、

$$\sigma_1 = \frac{Q}{S}$$

$$= \frac{W}{4S} \cdot \left\{ \frac{2\alpha_x h + (\alpha_z - 1)a}{l_x} + \frac{2\alpha_y h + (\alpha_z - 1)b}{l_y} \right\}$$

一方、ボルト1に生じる剪断応力は $\alpha_x$ と $\alpha_y$ の合成加速度 $\alpha_{xy}$ によって、

$$\alpha_{xy} = \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2}$$

$$\tau_1 = \frac{\alpha_{xy} W}{4S} = \frac{W}{4S} \sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2}$$

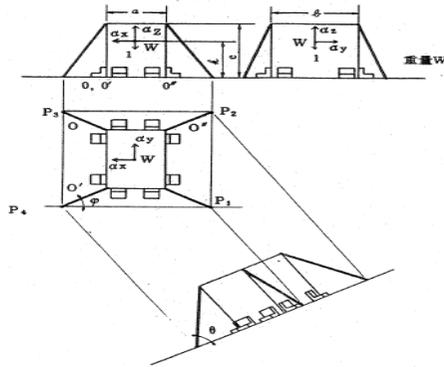
剪断歪エネルギー説によって引張応力 $\sigma_1$ 、剪断応力 $\tau_1$ を合わせると、

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2}$$

$$= \frac{W}{4S} \sqrt{\left\{ \frac{2\alpha_x h + (\alpha_z - 1)a}{l_x} + \frac{2\alpha_y h + (\alpha_z - 1)b}{l_y} \right\}^2 + 3\alpha_x^2 + 3\alpha_y^2}$$

## (2) ワイヤロープによる固縛（止め木有り）

### ① ワイヤロープに働く力



加速度 $\alpha_x$ によって生じる力には $P_1$ と $P_2$ が等しく耐える。

$$\therefore P_{1x} = P_{2x}$$

加速度 $\alpha_y$ によって生じる力には $P_1$ と $P_4$ が等しく耐える。

$$\therefore P_{1y} = P_{4y}$$

ワイヤロープ1に最大の引張力が生じる。

$$\therefore P_1 = P_{1x} + P_{1y}$$

止め木が有効に機能し、 $OO'$  を支点とする転倒を考えると、

$$W\alpha_x h + W\alpha_z \frac{a}{2} - W\frac{a}{2} \\ = 2cP_{1x} \cos\theta \cos\varphi + 2aP_{1x} \sin\theta$$

$$\therefore P_{1x} = \frac{W}{4} \cdot \frac{(\alpha_z - 1)a + 2\alpha_x h}{c \cos\theta \cos\varphi + a \sin\theta}$$

$OO''$  を支点とする転倒を考えると、上と同様に

$$P_{1y} = \frac{W}{4} \cdot \frac{(\alpha_z - 1)b + 2\alpha_y h}{c \cos\theta \sin\varphi + b \sin\theta}$$

$$P_1 = P_{1x} + P_{1y} \\ = \frac{W}{4} \left\{ \frac{(\alpha_z - 1)a + 2\alpha_x h}{c \cos\theta \cos\varphi + a \sin\theta} + \frac{(\alpha_z - 1)b + 2\alpha_y h}{c \cos\theta \sin\varphi + b \sin\theta} \right\}$$

## ② 止め木に働く力

加速度 $\alpha_x$ が働いたときに、止め木に生じる前後方向の力 $F_x$ を考える。

輸送物の移動を止めている力は、摩擦を無視して、 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $F_x$ であるとする、 $P_1 = P_2$ であるから、

$$W\alpha_x = 2P_1 \cos\theta \cos\varphi + F_x$$

ここで加速度は前後方向と上下方向だけを考えているから、

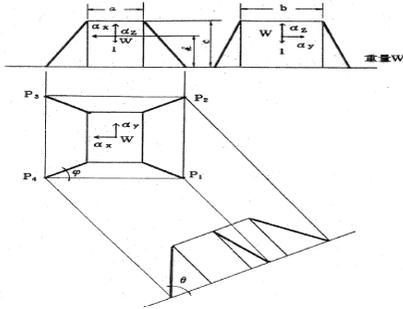
$$P_1 = P_{1x} = \frac{W}{4} \cdot \frac{(\alpha_z - 1)a + 2\alpha_x h}{c \cos\theta \cos\varphi + a \sin\theta}$$

$$\therefore F_x = W\alpha_x - \frac{W}{2} \cdot \frac{(\alpha_z - 1)a + 2\alpha_x h}{c \cos\theta \cos\varphi + a \sin\theta} \cdot \cos\theta \cos\varphi$$

加速度 $\alpha_y$ が働いたときに、止め木に生じる左右方向の力 $F_y$ は、上と同様にして、

$$F_y = W\alpha_y - \frac{W}{2} \cdot \frac{(\alpha_z - 1)b + 2\alpha_y h}{c \cos\theta \sin\varphi + b \sin\theta} \cdot \cos\theta \sin\varphi$$

(3) ワイヤロープによる固縛（止め木無し）



加速度  $\alpha_x$  によって生じる力には  $P_1$  と  $P_2$  が等しく耐える。

$$\therefore P_{1x} = P_{2x}$$

加速度  $\alpha_y$  によって生じる力には  $P_1$  と  $P_4$  が等しく耐える。

$$\therefore P_{1y} = P_{4y}$$

加速度  $\alpha_z$  によって生じる力には  $P_1, P_2, P_3, P_4$  が等しく耐える。

$$\therefore P_{1z} = P_{2z} = P_{3z} = P_{4z}$$

最大の引張力を生じるワイヤロープは1であり、その力の大きさは、

$$P_1 = P_{1x} + P_{1y} + P_{1z}$$

加速度  $\alpha_x$  に対して前後方向の力の釣り合いは、

$$W \alpha_x = 2P_{1x} \cos \theta \cos \varphi$$

$$\therefore P_{1x} = \frac{W \alpha_x}{2 \cos \theta \cos \varphi}$$

加速度  $\alpha_y$  に対して上と同様にして、

$$P_{1y} = \frac{W \alpha_y}{2 \cos \theta \sin \varphi}$$

加速度  $\alpha_z$  に対して、上下方向の力の釣り合いは、

$$W \alpha_z = W + 4P_{1z} \sin \theta$$

$$\therefore P_{1z} = \frac{W(\alpha_z - 1)}{4 \sin \theta}$$

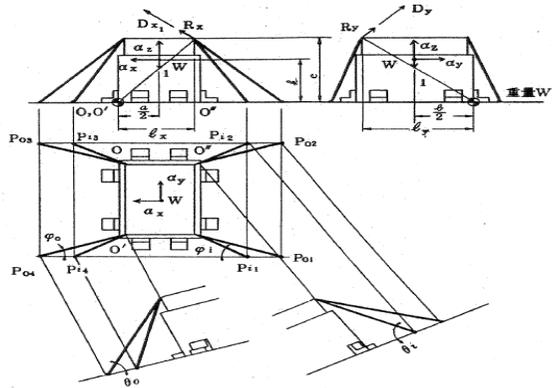
最大引張力は、

$$P_1 = P_{1x} + P_{1y} + P_{1z}$$

$$= \frac{W}{2} \left\{ \frac{\alpha_x}{\cos \theta \cos \varphi} + \frac{\alpha_y}{\cos \theta \sin \varphi} + \frac{\alpha_z - 1}{2 \sin \theta} \right\}$$

(4) ワイヤロープ (8本) による固縛 (止め木有り)

① ワイヤロープに働く力



加速度  $\alpha_x$  によって生じる力には  $P_{11}$ 、 $P_{01}$ 、 $P_{12}$ 、 $P_{02}$  が耐える。

$$P_{11x} = P_{12x}$$

$$P_{01x} = P_{02x}$$

加速度  $\alpha_y$  によって生じる力には  $P_{11}$ 、 $P_{01}$ 、 $P_{14}$ 、 $P_{04}$  が耐える。

$$P_{11y} = P_{14y}$$

$$P_{01y} = P_{04y}$$

ワイヤロープ  $1_1$ 、 $1_0$  に最大の張力を生じる。

$$P_{11} = P_{11x} + P_{11y}$$

$$P_{01} = P_{01x} + P_{01y}$$

止め木が有効に機能し、 $OO'$  を支点とする転倒を考えると、転倒力  $R_x$  は、

$$R_x \sqrt{\ell_x^2 + c^2} = W \alpha_x h + W \alpha_z \frac{a}{2} - W \frac{a}{2}$$

$$\therefore R_x = \frac{W \left[ \alpha_x h + (\alpha_z - 1) \frac{a}{2} \right]}{\sqrt{\ell_x^2 + c^2}}$$

一方、 $P_{11x}$  と  $P_{01x}$  の間の関係は、それぞれが  $D_x$  の方向となす角を  $\psi_{1x}$ 、 $\psi_{0x}$  とすると、

$$\cos \psi_{ix} = \frac{c^2 \left( 1 + \frac{c^2}{l_x^2} \right) + \frac{c^2}{\sin^2 \theta_i} - c^2 \left( \frac{\sin \varphi_i}{\tan \theta_i} \right)^2 - c^2 \left( \frac{\cos \varphi_i}{\tan \theta_i} - \frac{c}{l_x} \right)^2}{2 \cdot \frac{c}{\sin \theta_i} \cdot c \sqrt{1 + \frac{c^2}{l_x^2}}}$$

$$\cos \psi_{ox} = \frac{c^2 \left( 1 + \frac{c^2}{l_x^2} \right) + \frac{c^2}{\sin^2 \theta_o} - c^2 \left( \frac{\sin \varphi_o}{\tan \theta_o} \right)^2 - c^2 \left( \frac{\cos \varphi_o}{\tan \theta_o} - \frac{c}{l_x} \right)^2}{2 \cdot \frac{c}{\sin \theta_o} \cdot c \sqrt{1 + \frac{c^2}{l_x^2}}}$$

式を変形すると、

$$\cos \psi_{ix} = \frac{\sin \theta_i + \frac{c}{l_x} \cos \varphi_i \cos \theta_i}{\sqrt{1 + \frac{c^2}{l_x^2}}}$$

$$\cos \psi_{ox} = \frac{\sin \theta_o + \frac{c}{l_x} \cos \varphi_o \cos \theta_o}{\sqrt{1 + \frac{c^2}{l_x^2}}}$$

変化量が微小であり、 $D_x$ の方向に $d_x$ であったとするとワイヤロープ $1_i$ 、 $1_o$ の伸び量はそれぞれ

$$d_x \cos \psi_{ix}、d_x \cos \psi_{ox}$$

となる。

このとき、弾性変形による仕事量 $U$ はワイヤロープの長さを $l_i$ 、 $l_o$ 、断面積 $A$ （共通）、縦弾性係数 $E$ （共通）とすれば、

$$U = \frac{AE}{2l_i} (d_x \cos \psi_{ix})^2 + \frac{AE}{2l_o} (d_x \cos \psi_{ox})^2 - R_x d_x$$

$$\frac{\partial U}{\partial d_x} = 0 \text{ より}$$

$$d_x = \frac{R_x}{AE \left( \frac{\cos^2 \psi_{ix}}{l_i} + \frac{\cos^2 \psi_{ox}}{l_o} \right)}$$

$$\text{ここで } \ell_i = \frac{c}{\sin \theta_i}, \ell_o = \frac{c}{\sin \theta_o}$$

$$\begin{aligned} \therefore d_x &= \frac{R_x \cdot c}{AE (\cos^2 \psi_{ix} \sin \theta_i + \cos^2 \psi_{ox} \sin \theta_o)} \\ &= \frac{R_x \cdot c \left(1 + \frac{c^2}{\ell_x^2}\right)}{AE \left[ \sin \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_i \cos \theta_i \right)^2 + \sin \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_o \cos \theta_o \right)^2 \right]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{ix} &= \frac{AE}{\ell_i} \cdot d_x \cos \psi_{ix} \cdot \frac{1}{2} \\ &= \frac{R_x \sqrt{1 + \frac{c^2}{\ell_x^2}} \sin \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_i \cos \theta_i \right)}{2 \left[ \sin \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_i \cos \theta_i \right)^2 + \sin \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_o \cos \theta_o \right)^2 \right]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{ox} &= \frac{AE}{\ell_o} \cdot d_x \cos \psi_{ox} \cdot \frac{1}{2} \\ &= \frac{R_x \sqrt{1 + \frac{c^2}{\ell_x^2}} \sin \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_o \cos \theta_o \right)}{2 \left[ \sin \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_i \cos \theta_i \right)^2 + \sin \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_o \cos \theta_o \right)^2 \right]} \end{aligned}$$

$R_x$ を代入すると、

$$P_{ix} = \frac{W \left[ \alpha_x h + (\alpha_z - 1) \frac{a}{2} \right] \sin \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_i \cos \theta_i \right)}{2 \ell_x \left[ \sin \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_i \cos \theta_i \right)^2 + \sin \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_o \cos \theta_o \right)^2 \right]}$$

$$P_{oix} = \frac{W \left[ \alpha_x h + (\alpha_z - 1) \frac{a}{2} \right] \sin \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{l_x} \cos \varphi_o \cos \theta_o \right)}{2l_x \left[ \sin \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{l_x} \cos \varphi_i \cos \theta_i \right)^2 + \sin \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{l_x} \cos \varphi_o \cos \theta_o \right)^2 \right]}$$

加速度  $\alpha_y$  によって生じる  $OO''$  を支点とする転倒を考えると、上と同様にして、

$$R_y = \frac{W \left[ \alpha_y h + (\alpha_z - 1) \frac{b}{2} \right]}{\sqrt{l_y^2 + c^2}}$$

$$\cos \psi_{iy} = \frac{\sin \theta_i + \frac{c}{l_y} \sin \varphi_i \cos \theta_i}{\sqrt{1 + \frac{c^2}{l_y^2}}}$$

$$\cos \psi_{oy} = \frac{\sin \theta_o + \frac{c}{l_y} \sin \varphi_o \cos \theta_o}{\sqrt{1 + \frac{c^2}{l_y^2}}}$$

$$d_y = \frac{R_y}{AE \left( \frac{\cos^2 \psi_{iy}}{l_i} + \frac{\cos^2 \psi_{oy}}{l_o} \right)}$$

$$P_{ily} = \frac{AE}{l_i} \cdot d_y \cos \psi_{iy} \cdot \frac{1}{2}$$

$$P_{oly} = \frac{AE}{l_o} \cdot d_y \cos \psi_{oy} \cdot \frac{1}{2}$$

より

$$P_{ily} = \frac{W \left[ \alpha_y h + (\alpha_z - 1) \frac{b}{2} \right] \sin \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{l_y} \sin \varphi_i \cos \theta_i \right)}{2l_y \left[ \sin \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{l_y} \sin \varphi_i \cos \theta_i \right)^2 + \sin \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{l_y} \sin \varphi_o \cos \theta_o \right)^2 \right]}$$

$$P_{oly} = \frac{W \left[ \alpha_y h + (\alpha_z - 1) \frac{b}{2} \right] \sin \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{\ell_y} \sin \varphi_o \cos \theta_o \right)}{2 \ell_y \left[ \sin \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{\ell_y} \sin \varphi_i \cos \theta_i \right)^2 + \sin \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{\ell_y} \sin \varphi_o \cos \theta_o \right)^2 \right]}$$

$P_{il} = P_{ilx} + P_{ily}$  より

$$P_{il} = \frac{W \left[ \alpha_x h + (\alpha_z - 1) \frac{a}{2} \right] \sin \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_i \cos \theta_i \right)}{2 \ell_x \left[ \sin \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_i \cos \theta_i \right)^2 + \sin \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_o \cos \theta_o \right)^2 \right]} + \frac{W \left[ \alpha_y h + (\alpha_z - 1) \frac{b}{2} \right] \sin \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{\ell_y} \sin \varphi_i \cos \theta_i \right)}{2 \ell_y \left[ \sin \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{\ell_y} \sin \varphi_i \cos \theta_i \right)^2 + \sin \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{\ell_y} \sin \varphi_o \cos \theta_o \right)^2 \right]}$$

$P_{ol} = P_{olx} + P_{oly}$  より

$$P_{ol} = \frac{W \left[ \alpha_x h + (\alpha_z - 1) \frac{a}{2} \right] \sin \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_o \cos \theta_o \right)}{2 \ell_x \left[ \sin \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_i \cos \theta_i \right)^2 + \sin \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_o \cos \theta_o \right)^2 \right]} + \frac{W \left[ \alpha_y h + (\alpha_z - 1) \frac{b}{2} \right] \sin \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{\ell_y} \sin \varphi_o \cos \theta_o \right)}{2 \ell_y \left[ \sin \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{\ell_y} \sin \varphi_i \cos \theta_i \right)^2 + \sin \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{\ell_y} \sin \varphi_o \cos \theta_o \right)^2 \right]}$$

② 止め木に働く力

加速度  $\alpha_x$  が働いたときに、止め木に生じる前後方向の力  $F_x$  を考える。  
 輸送物の移動を止めている力は、摩擦を無視して、 $P_{il}$ 、 $P_{ilx}$ 、 $P_{ol}$ 、 $P_{olx}$ 、 $F_x$  であるとする、加速度は前後方向と上下方向だけを考えているから、

$$P_{il} = P_{ilx}, \quad P_{ilz} = P_{ilz}, \quad P_{ol} = P_{olx}, \quad P_{olz} = P_{olz}$$

また  $P_{ilx}=P_{ilx}$ ,  $P_{olx}=P_{olx}$  より

$$W \alpha_x = 2P_{ilx} \cos \varphi_i \cos \theta_i + 2P_{olx} \cos \varphi_o \cos \theta_o + F_x$$

$$\therefore F_x = W \alpha_x -$$

$$\frac{W \left[ \alpha_x h + (\alpha_z - 1) \frac{a}{2} \right] \left[ \cos \varphi_i \sin \theta_i \cos \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_i \cos \theta_i \right) + \right.}{2 \left[ \sin \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_i \cos \theta_i \right)^2 + \right.}$$

$$\left. \left. \cos \varphi_o \sin \theta_o \cos \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_o \cos \theta_o \right) \right] \right]}{\sin \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{\ell_x} \cos \varphi_o \cos \theta_o \right)^2}$$

加速度  $\alpha_y$  が働いたときに、止め木に生じる左右方向の力  $F_y$  は、上と同様にして、

$$F_y = W \alpha_y -$$

$$\frac{W \left[ \alpha_y h + (\alpha_z - 1) \frac{b}{2} \right] \left[ \sin \varphi_i \sin \theta_i \cos \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{\ell_y} \sin \varphi_i \cos \theta_i \right) + \right.}{2 \left[ \sin \theta_i \left( \sin \theta_i + \frac{c}{\ell_y} \sin \varphi_i \cos \theta_i \right)^2 + \right.}$$

$$\left. \left. \sin \varphi_o \sin \theta_o \cos \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{\ell_y} \sin \varphi_o \cos \theta_o \right) \right] \right]}{\sin \theta_o \left( \sin \theta_o + \frac{c}{\ell_y} \sin \varphi_o \cos \theta_o \right)^2}$$